



Dimensionamento de sistemas de rega

Elaboração de um projecto de rega localizada por gota-a-gota e de um projecto de rega por aspersão

Ricardo Miguel Fernandes Quinas

Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em:

Engenharia Agronómica

Orientador: Doutor José Luís Monteiro Teixeira

Júri:

Presidente: Doutora Cristina Maria Moniz Simões de Oliveira, Professora Associada com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutora Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor José Luís Monteiro Teixeira, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Resumo

A rega assume uma importância crescente na agricultura como um factor preponderante na obtenção de produções satisfatórias em quantidade e qualidade e que assegurem rentabilidade para o agricultor, em especial em condições Mediterrânicas.

Neste trabalho elaboraram-se dois projectos de rega distintos com aplicação real: um projecto dedicado a um sistema de rega localizada por gota-a-gota para as culturas da amêndoa e da romã e um projecto para um sistema de rega por aspersão para a cultura do brócolo.

A elaboração dos projectos compreendeu três etapas – dimensionamento agronómico, desenho do sistema e dimensionamento hidráulico. A metodologia de trabalho seguiu integralmente a metodologia adoptada na empresa onde decorreu o estágio – Magos Irrigation Systems, SA.

O dimensionamento agronómico foi realizado com recurso a folhas de Excel que fornecem os dados de *output* necessários ao projecto do sistema segundo os dados de *input* fornecidos pelos clientes.

Os desenhos de implantação no terreno e desenhos esquemáticos de componentes específicos dos sistemas foram realizados através de um programa informático de desenho do tipo CAD e são apresentados em anexo.

O dimensionamento hidráulico das condutas recorreu à fórmula de Hazen-Williams embebida numa folha em Excel de forma a tornar estes cálculos mais expeditos. Os acessórios específicos foram dimensionados segundo os dados de catálogo dos respectivos fornecedores.

O projecto de rega por gota-a-gota aproveitou um conjunto de infraestruturas já existentes que impuseram fortes restrições. A metodologia adoptada na empresa para o cálculo das necessidades hídricas mereceu uma crítica e posterior correcção segundo as recomendações da vasta bibliografia existente, tendo-se estudado as alterações que o projecto sofreria nessas novas condições.

O projecto de rega por aspersão foi elaborado integralmente de raiz. O cliente requereu um sistema com ramais à superfície do solo e impôs uma importante restrição no compasso dos aspersores.

Palavras-chave: rega; sistema de rega; projecto de rega; rega gota-a-gota; rega por aspersão.

NOTA: este autor não adopta o Acordo Ortográfico de 1990.

Abstract

The irrigation has an increasing importance in the agriculture as an essential factor to obtain production quality and quantity which ensure profitability for the farmer, particularly in the Mediterranean regions.

In this study were designed two distinct and real farm irrigation systems: one of them to a drip irrigation system for almond and pomegranate crops and the other to a sprinkler irrigation system for broccoli crop.

The irrigation projects were made in three steps – irrigation requirements, system design and pipe sizing. The work methodology was the same which is used in the company where the traineeship runned – Magos Irrigation Systems, SA.

The irrigation requirements were made in Excel spreadsheets which give the output data needed for the system design from the input data provided by the customers.

The system design and other specific draws were made using a CAD program and they are attached to this work.

The pipe sizing was estimated using the Hazen-Williams equation embeded in an Excel document to ensure a quick work. Other specific components of the system were sized with the catalog data from the providers.

The drip irrigation system used some existing infrastructures which represented hard restrictions to the system. The company's methodology to estimate water needs was reviewed according the bibliography about this subject and were studied the changes in the system with the new data.

The sprinkler irrigation system was completely brand new one. The customer requested a sprinkler system with some portable components and set a restriction in the sprinkler spacing.

Key words: irrigation; irrigation system; irrigation design; drip irrigation, sprinkler irrigation.

Índice

I. Introdução	12
II. Projectos de rega	13
1. Projecto de rega localizada por gota-a-gota	13
1.1. Dados para o projecto	13
1.1.1. Local de implantação	13
1.1.2. Cultura	14
1.1.3. Abastecimento de água	14
1.1.4. Infraestruturas existentes	14
1.1.5. Fonte de energia	15
1.1.6. Emissores	15
1.1.7. Equipamentos de fertirrega	16
1.1.8. Equipamentos de automatização	16
1.1.9. Outras condicionantes	16
1.2. Dimensionamento do sistema - amêndoa	17
1.2.1. Dados de <i>input</i>	17
1.2.1.1. Necessidades hídricas de ponta do sistema	17
1.2.1.2. Horas disponíveis para rega	17
1.2.1.3. Compasso de plantação	17
1.2.1.4. Compasso dos emissores	17
1.2.1.5. Débito dos gotejadores	17
1.2.1.6. Número de linhas de gotejadores por linha de plantação	18
1.2.2. Dados de output	18
1.3. Dimensionamento do sistema - romã	19
1.3.1. Dados de <i>input</i>	19
1.3.1.1. Necessidades hídricas de ponta do sistema	19
1.3.1.2. Horas disponíveis para rega	20
1.3.1.3. Compasso de plantação	20
1.3.1.4. Compasso dos emissores	20
1.3.1.5. Débito dos gotejadores	20
1.3.1.6. Número de linhas de gotejadores por linha de plantação	20
1.3.2. Dados de <i>output</i>	20
1.4. Desenho do sistema	22
1.4.1. Laterais	23

1.4.2.	Sectores.....	24
1.4.3.	Blocos de rega	25
1.4.4.	Cabeçais de válvulas dos blocos.....	26
1.4.5.	Porta-ramais.....	28
1.4.6.	Condutas principais.....	28
1.5.	Dimensionamento hidráulico	28
1.5.1.	Laterais	28
1.5.2.	Porta-ramais.....	30
1.5.3.	Cabeçais de válvulas dos blocos.....	33
1.5.3.1.	Conduta de ligação	33
1.5.3.2.	Válvulas	34
1.5.4.	Pressão de regulação das válvulas	36
1.5.5.	Regra de Christiansen.....	38
1.5.6.	Condutas principais.....	39
1.5.7.	Cabeçal de rega principal.....	41
1.5.7.1.	Filtração	41
1.5.7.2.	Conduta de ligação do cabeçal	44
1.5.8.	Pressão necessária no cabeçal de rega principal.....	45
1.5.9.	Blocos 1 e 2	47
1.6.	Crítica ao projecto	49
1.6.1.	Evapotranspiração de referência.....	50
1.6.2.	Evapotranspiração cultural	51
1.6.3.	Necessidades hídricas de ponta.....	52
1.6.3.1.	Coeficiente de localização.....	52
1.6.3.2.	Necessidades hídricas de ponta da cultura	53
1.6.3.3.	Necessidades hídricas de ponta do sistema	53
1.6.4.	Dimensionamento agronómico.....	53
2.	Projecto de rega aérea por aspersão	56
2.1.	Dados para o projecto	56
2.1.1.	Local de implantação	56
2.1.2.	Cultura	57
2.1.3.	Abastecimento de água.....	57
2.1.4.	Fonte de energia	57
2.1.5.	Equipamentos de fertirrega	57
2.1.6.	Condicionantes impostas	57
2.1.7.	Expectativas do cliente.....	57

2.2.	Dimensionamento do sistema	58
2.2.1.	Dados de <i>input</i>	58
2.2.1.1.	Necessidades hídricas de ponta do sistema	58
2.2.1.2.	Horas disponíveis para rega.....	58
2.2.1.3.	Características dos aspersores	58
2.2.2.	Dados de <i>output</i>	60
2.3.	Desenho do sistema.....	62
2.3.1.	Aspersores e ramais	62
2.3.2.	Sectores.....	63
2.3.3.	Cabeçais de válvulas dos sectores	65
2.3.4.	Porta-ramais.....	66
2.3.5.	Conduatas principais.....	66
2.4.	Dimensionamento hidráulico	66
2.4.1.	Ramais.....	66
2.4.2.	Porta-ramais.....	68
2.4.3.	Cabeçais de válvulas dos sectores	69
2.4.4.	Pressão de regulação das válvulas	72
2.4.5.	Regra de Christiansen.....	73
2.4.6.	Conduatas principais.....	74
2.4.7.	Cabeçal de rega.....	75
2.4.7.1.	Filtração	76
2.4.7.2.	Conduata de ligação do cabeçal	77
2.4.8.	Coluna de compressão	77
2.5.	Altura manométrica	78
III.	Conclusão	82
	Referências bibliográficas	83
	Anexos	84
	Anexo 1.1 – Levantamento topográfico	85
	Anexo 1.2 – Levantamento topográfico da área em estudo	86
	Anexo 1.3 – Comprimentos máximos das linhas de plantação	87
	Anexo 1.4 – Planta de sectores.....	88
	Anexo 1.5 – Área e caudal das parcelas	89
	Anexo 1.6 – Planta de blocos de rega	90
	Anexo 1.7 – Planta de implantação das válvulas.....	91
	Anexo 1.8 – Planta de traçado dos porta-ramais.....	92
	Anexo 1.9 – Planta de traçado das conduatas principais.....	93

Anexo 1.10 – Determinação dos declives mínimos	94
Anexo 1.11 – Planta de ramais laterais	95
Anexo 1.12 – Redefinição das válvulas de comando.....	96
Anexo 1.13 – Planta final de diâmetros dos porta-ramais.....	97
Anexo 1.14 – Localização dos pontos extremos de pressão	98
Anexo 1.15 – Planta provisória de diâmetros de condutas principais	99
Anexo 1.16 – Planta provisória de diâmetros de condutas principais	100
Anexo 1.17 – Planta final de diâmetros de condutas principais	101
Anexo 2.1 – Levantamento da propriedade	102
Anexo 2.2 – Delimitação da propriedade	103
Anexo 2.3 – Adaptação dos aspersores à propriedade – fase 1	104
Anexo 2.4 – Adaptação dos aspersores à propriedade – fase 2.....	105
Anexo 2.5 – Formação de sectores de rega – fase 1.....	106
Anexo 2.6 – Formação de sectores de rega – fase 2.....	107
Anexo 2.7 – Formação de sectores de rega – fase 3.....	108
Anexo 2.8 – Formação de sectores de rega – fase 4.....	109
Anexo 2.9 – Planta final de sectores de rega e traçado dos ramais.....	110
Anexo 2.10 – Altitude de vários pontos de referência	111
Anexo 2.11 – Planta de implantação das válvulas.....	112
Anexo 2.12 – Planta de traçado dos ramais e porta-ramais.....	113
Anexo 2.13 – Planta de traçado de condutas principais	114
Anexo 2.14 – Planta global de traçado das condutas	115
Anexo 2.15 – Planta de localização dos pontos mais desfavoráveis	116
Anexo 2.16 – Planta de localização dos pontos mais favoráveis	117
Anexo 2.17 – Planta global de diâmetros das condutas	118
Anexo 2.18 – Desenho esquemático do cabeçal de rega	119

Índice de Figuras

Figura 1.1: Gama de produtos do tubo gotejador <i>Hydro PC</i> da <i>Rivulis</i>	18
Figura 1.2: Exemplo de cabeçal de bloco em ferro galvanizado. À esquerda é possível ver a conduta principal que o abastece e à direita encontra-se a conduta porta-ramais.....	27
Figura 1.3: Comprimentos máximos admissíveis para o tubo <i>Hydro PC</i> de 20 mm.....	29
Figura 1.4: Perdas de carga nas válvulas modelo <i>Dorot</i> série 100 em função do caudal.	35
Figura 1.5: Relação entre pressão a montante e pressão a jusante da válvula hidráulica na ocorrência de cavitação.....	36
Figura 1.6: Perdas de carga nos filtros de areia modelo <i>F2000</i> da <i>Rivulis</i>	43
Figura 1.7: Pontos de funcionamento da família de electrobombas centrífugas monobloco <i>MDT</i> da <i>Caprari</i>	48
Figura 1.8: Valores dos coeficientes culturais simples e duais para a cultura da amêndoa. .	52
Figura 2.1: Modelo de aspersor <i>VYR-26</i>	58
Figura 2.2: Intensidades de aplicação e CU do aspersor <i>VYR-26</i> em função da pressão e do compasso.....	60
Figura 2.3: Desenho esquemático da ligação entre as condutas porta-ramais e os ramais. .	69
Figura 2.4: Corpo de uma válvula plástica <i>Dorot</i> modelo 75.....	70
Figura 2.5: Perdas de carga nas válvulas modelo <i>Dorot</i> modelo 75 em função do caudal. ..	70
Figura 2.6: Desenho esquemático dos cabeçais de sector com uma válvula.....	71
Figura 2.7: Desenho esquemático dos cabeçais de sector com duas válvulas.	72
Figura 2.8: Perdas de carga do filtro hidrociclone <i>Rivulis F1000</i> em função do caudal.....	76
Figura 2.9: Características de funcionamento das electrobombas <i>Caprari</i> da série <i>E6P35</i> . .	80

Índice de Quadros

Quadro 1.1: Pressões mínimas necessárias à entrada dos laterais.....	29
Quadro 1.2: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nos porta-ramais. 31	
Quadro 1.3: Redimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nos porta-ramais dos blocos 6 e 8.	32
Quadro 1.4: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nos cabeçais dos blocos.....	33
Quadro 1.5: Dimensão das válvulas e estimativa da perda de carga singular segundo a figura 1.4	35
Quadro 1.6: Comparação entre as perdas de carga nos porta-ramais e a diferença de cota entre as suas extremidades.....	37
Quadro 1.7: Cálculo da pressão de regulação das válvulas dos blocos.....	38
Quadro 1.8: Cálculo da variação de pressão à entrada das linhas laterais.	39
Quadro 1.9: Cálculo da pressão restante no sistema de rega.	40
Quadro 1.10: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nas condutas principais (excepto blocos 1 e 2).	41
Quadro 1.11: Opções para a construção da bateria de filtros de areia.	43
Quadro 1.12: Dimensionamento da conduta de ligação do cabeçal de rega principal.	44
Quadro 1.13: Cálculo da altura requerida no cabeçal de rega principal por bloco de rega (excepto blocos 1 e 2).	46
Quadro 1.14: Redimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nas condutas principais no troços que abastecem os blocos de rega 7 e 8.....	46
Quadro 1.15: Novo cálculo da altura necessária no cabeçal de rega principal por bloco de rega para os blocos 7 e 8.	46
Quadro 1.16: Cálculo da pressão necessária no cabeçal principal para os componentes hidráulicos já dimensionados.....	47
Quadro 1.17: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nas condutas principais para os blocos 1 e 2.	48
Quadro 1.18: Cálculo da pressão necessária no cabeçal principal para os blocos 1 e 2.	49
Quadro 2.1: Valores da evapotranspiração de referência calculados para os anos de 1959 a 1988.	50
Quadro 3.1: Cálculo das perdas de carga contínuas nos ramais.	67
Quadro 3.2: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nos porta-ramais. 68	
Quadro 3.3: Dimensionamento e cálculo da perda de carga contínua no troço ascendente de ligação.....	69

Quadro 3.4: Dimensionamento e cálculo da perda de carga contínua nos cabeçais dos sectores.....	69
Quadro 3.5: Dimensão das válvulas e estimativa da perda de carga singular segundo a figura 3.5.	71
Quadro 3.6: Cálculo da pressão de regulação das válvulas dos sectores.	73
Quadro 3.7: Cálculo da variação de pressão de funcionamento dos aspersores.	74
Quadro 3.8: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nas condutas principais.	75
Quadro 3.9: Dimensionamento da conduta de ligação do cabeçal de rega principal.	77
Quadro 3.10: Dimensionamento e cálculo da perda de carga contínua na coluna de compressão.....	78
Quadro 3.11: Cálculo da altura manométrica requerida por cada sector de rega.	79

Abreviaturas

ΔP – variação de pressão

Δz – diferença de cota

Comp. – comprimento

CU – coeficiente de uniformidade

d – diâmetro

DE – diâmetro externo

DI – diâmetro interno

ETc – evapotranspiração cultural

ETo – evapotranspiração de referência

F – factor de Christiansen

$h_{cab+valv}$ – perda de carga no conjunto do cabeçal do sector/bloco e válvula

h_{fa} – perda de carga singular na bateria de filtração de areia

h_{hid} – perda de carga singular no hidrociclone

h_s – perdas de carga singulares não especificadas

h_{valv} – perda de carga singular na válvula

h_l – perda de carga contínua

$h_{l_{cab}}$ – perda de carga contínua no cabeçal do sector/bloco

$h_{l_{cc}}$ – perda de carga contínua na coluna de compressão

$h_{l_{p-ra}}$ – perda de carga contínua na conduta porta-ramais

$h_{l_{ram}}$ – perda de carga contínua no ramal

$h_{l_{ta}}$ – perda de carga contínua no troço ascendente de ligação

HT – altura manométrica requerida

k – factor de redução na rega localizada

k_c – coeficiente cultural

N_{hd} – nível hidrodinâmico

p/γ – altura piezométrica

P_{asp} – pressão num determinado aspersor

P_{emi} – pressão num determinado emissor

P_{min} – pressão mínima à entrada dos laterais

P_{reg} – pressão a regular a válvula

PE – polietileno

PEBD – polietileno de baixa densidade

PVC – policloreto de vinilo

Q – Caudal

$Q_{m\acute{a}x}$ – caudal máximo recomendado

Q_{\min} – caudal mínimo recomendado

Q_{real} – caudal efectivo

s – perda de carga unitária

v – velocidade de escoamento

z_{pa} – altura do porta-aspersor

I. Introdução

Este relatório resume dois projectos de rega com aplicação prática realizados durante um estágio profissional na empresa Magos Irrigation Systems, SA, nomeadamente um projecto para um sistema de rega localizada por gota-a-gota e um projecto para um sistema de rega por aspersão.

A Magos Irrigation Systems, SA, é uma empresa especializada na comercialização, projecto, montagem e assistência técnica de sistemas rega. As suas instalações principais situam-se em Salvaterra de Magos, mas desenvolve o seu trabalho em todo o território nacional.

Para cada um dos projectos são apresentados os dados fornecidos pelos respectivos clientes que servem de base ao trabalho. Esses dados incluem aspectos hidráulicos e electrotécnicos. Apesar dos dados electrotécnicos não serem relevantes no projecto hidráulico, são apresentados visto que na prática esse trabalho é realizado como um todo.

Na prática os projectos realizam-se de uma forma integrada. No entanto, para melhor sistematização do trabalho, consideraram-se três etapas fundamentais – dimensionamento agronómico, desenho do sistema e dimensionamento hidráulico.

A metodologia segue aquilo que está preconizado na referida empresa.

O dimensionamento agronómico é realizado a partir dos dados fornecidos pelo cliente introduzidos numa folha de cálculo em Excel que agiliza o trabalho.

O desenho de implementação é realizado em programa de desenho informático a duas dimensões, a partir de um levantamento topográfico ou alternativamente a partir de imagens de satélite. Os diversos desenhos dos projectos, que são referidos ao longo do texto, encontram-se em anexo.

O dimensionamento hidráulico, no caso das condutas, recorre à formula de Hazen-Williams inserida numa folha de cálculo em Excel que torna o trabalho mais expedito, considerando em geral velocidades de escoamento máximas entre 2 e 2,5 m.s⁻¹. Os acessórios específicos dos sistemas de rega recorrem aos dados técnicos dos respectivos fornecedores. As pressões necessárias nos pontos críticos do sistema foram calculadas a partir do teorema de Bernoulli.

II. Projectos de rega

1. Projecto de rega localizada por gota-a-gota

O projecto para rega localizada por gota-a-gota foi realizado para um eventual cliente com uma propriedade de grande dimensão localizada em Monforte, distrito de Portalegre. Neste projecto, o cliente pretende converter uma área dedicada a culturas arvenses de regadio por aspersão para uma área de culturas permanentes – amêndoeira e romãzeira.

O abastecimento de água recorre a uma barragem particular localizada na propriedade. Nessa barragem particular já existe um grupo de bombagem de superfície que será utilizado neste novo projecto, havendo que considerar várias restrições na sua utilização, entre outras restrições impostas pelo cliente ao projecto.

O dimensionamento agronómico do sistema foi realizado com recurso integral à metodologia utilizada na empresa. No cálculo das necessidades hídricas de ponta para a cultura da amêndoa, esta metodologia mereceu um reparo e uma correcção apresentada no final do capítulo por não ter em consideração um factor de localização nos sistemas de rega localizada para culturas esparsas, que é recomendado pela vasta bibliografia existente.

Assim, decidiu-se apresentar o projecto tal como ele foi elaborado na empresa e depois, no ponto 2.6, fazer uma análise crítica à metodologia seguida para o cálculo das necessidades de rega e estudar as implicações que a alteração das necessidades de rega provocariam no projecto inicial.

1.1. Dados para o projecto

1.1.1. Local de implantação

O potencial cliente possui uma propriedade com diversas parcelas dedicadas a culturas distintas. Os solos são de textura pesada.

Neste projecto, pretende converter uma área dedicada anteriormente a culturas anuais regadas por aspersão através de um *center-pivot* sectorial com 180º para uma área de culturas permanentes equipadas com rega localizada por gota-a-gota, utilizando alguns equipamentos já existentes.

A área total da parcela é de 30 ha. O cliente já possui um levantamento topográfico da propriedade que forneceu para a execução do projecto (anexo 1.1). A implantação da cultura, com os caminhos e as linhas de plantação já se encontram definidas no levantamento topográfico e segundo o cliente, as marcações já se encontram feitas no terreno. Tratando-se de uma propriedade de grande extensão, não é necessário trabalhar com a totalidade da área representada no levantamento, pelo que no anexo 1.2 apresenta-se limitada a área onde se irá trabalhar, com as linhas de plantação representadas.

Um levantamento topográfico com este nível de detalhe é ideal quando se projecta um sistema de rega. Contudo, dado que a realização de um levantamento topográfico é um custo para o agricultor, estes evitam executá-lo. Apesar de ser sempre recomendado, em casos em que o terreno seja relativamente plano, acontece, por vezes, realizarem-se projectos sem um levantamento topográfico, havendo um menor rigor nos cálculos e no projecto.

1.1.2. Cultura

A área será dedicada em proporção distinta a duas culturas. Cerca de 18,2 ha de área efectiva serão dedicados à cultura superintensiva da amêndoa com um compasso de 5 x 1,50 m. A área da romã é de 10 ha efectivos em compasso 5 x 3 m. A área restante, cerca de 1,8 ha, é referente aos caminhos.

1.1.3. Abastecimento de água

O abastecimento de água para rega é assegurado por uma barragem localizada na propriedade. A capacidade da barragem não foi tida como limitante para a rega.

1.1.4. Infraestruturas existentes

Junto à barragem encontra-se um grupo de bombagem que era utilizado anteriormente na rega do *pivot* existente no local e que rega também outras parcelas dedicadas a outras culturas. Desde esse ponto de bombagem até ao antigo centro do *pivot*, local a partir do qual se desenvolverá o novo sistema de rega, já existe uma conduta em fibrocimento de 250 mm com cerca de 2160 m de extensão. Junto ao centro do antigo *pivot*, a conduta está ligada a um pequeno troço de conduta em ferro galvanizado de 250 mm com terminação em flange, que antes dava ligação à máquina de rega instalada no local. Nesse local ficará instalado o novo cabeçal de rega principal do sistema gota-a-gota.

Seria ideal conhecer-se ao certo o modelo do grupo de bombagem de forma a procurar as suas curvas características. No entanto, à ausência desses dados, o cliente forneceu o caudal e pressão disponíveis no centro do antigo *pivot* e que corresponde à pressão de entrada no cabeçal de rega: cerca de $225 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ com uma altura de 30 m.

Uma vez que o grupo de bombagem se encontra afecto à rega de outras parcelas, o tempo máximo disponível para a rega da nova parcela está limitado a um máximo de 14 horas diárias.

1.1.5. Fonte de energia

Ainda que o sistema já disponha de bombagem, o cliente pede equipamentos de fertirrega e comando que necessitam de energia eléctrica para trabalhar no cabeçal de rega. Dado que os *pivots* possuem equipamentos com alimentação eléctrica e que essa ligação se mantêm disponível, existe energia eléctrica no local mas o cliente não sabe especificar a potência. No entanto, conhecendo-se a composição do antigo *pivot* (8 torres), é possível ter uma noção aproximada da potência. Após a consulta a um técnico especializado da empresa, este estima que a potência mínima disponível no local é de 5,5 kW.

Este dado não é relevante para o projecto hidráulico mas condiciona a escolha das opções técnicas que se podem tomar. A componente electrotécnica dos projectos é realizada por técnicos da empresa especializados na área.

1.1.6. Emissores

É frequente que os clientes definam à partida as características de alguns equipamentos que pretendem utilizar.

Neste projecto, o cliente é específico quanto às características principais dos emissores que pretende que sejam utilizados: no caso da cultura da amêndoa, pretende um tubo gotejador por linha de plantação com emissores espaçados a 50 cm e com um débito de $2,2 \text{ l.h}^{-1}$, enquanto na cultura da romã pretende linha dupla de tubo gotejador por linha de plantação, com emissores espaçados a 0,75 m e débito de 2 l.h^{-1} .

O número de emissores por planta deverá ser estimado segundo a razão entre a área explorada pelo sistema radicular de cada planta e a área humedecida por cada emissor. É também preponderante a disposição dos emissores para que a percentagem de área humedecida alcance pelo menos um terço da superfície total, sendo que o valor ideal é de dois terços da superfície quando as necessidades hídricas das plantas sejam asseguradas na totalidade pela rega.

De facto, segundo Karmeli e Keller (1975) cit. por Raposo (1994), com uma linha de emissores com um débito de 2 l.h^{-1} afastados 5 metros entre si, à semelhança do que acontece neste projecto para a cultura da amendoeira, a percentagem de solo humedecido é de apenas 24% em solos de textura pesada, um valor aquém do que seria recomendado de pelo menos um terço da área.

O espaçamento entre emissores escolhido pelo cliente é excessivamente reduzido, sobretudo na cultura da amendoeira. Em solos de textura pesada, o diâmetro do bolbo humedecido alcança valores de pelo menos 1 m, conforme o trabalho de vários autores demonstra, não justificando um espaçamento entre emissores de metade desse valor.

A opção técnica preferível para a cultura da amendoeira seria aplicar uma segunda linha de emissores por linha de plantas, aumentando o espaçamento entre emissores para 1 m, um valor recomendado pelos autores referidos anteriormente para estas condições, próximo do que seria obtido na razão entre a área do sistema radicular de cada planta e a área regada por cada emissor. Assim, seria possível aumentar a área humedecida pelo sistema de rega com todas as vantagens agronómicas que daí se obtém, em especial permitindo uma expansão maior do sistema radicular.

No caso da cultura da romã, as duas rampas por linha de plantação permitem já obter uma área humedecida superior, variável conforme o afastamento com que as rampas sejam instaladas na prática. Um afastamento superior entre as rampas é vantajoso por permitir humedecer uma superfície. No entanto, o espaçamento entre emissores é novamente demasiado reduzido, justificando-se um espaçamento de pelo menos 1 m.

1.1.7. Equipamentos de fertirrega

O cliente pretende que seja instalada uma doseadora para fertirrega com um débito máximo de 226 l.h^{-1} e um depósito para fertilizantes com capacidade para 3000 litros.

1.1.8. Equipamentos de automatização

Para assegurar o comando do sistema, o cliente pretende um programador da marca *Agronic* modelo 4000. A *Agronic* é uma das marcas mais utilizadas no mercado ibérico pela sua fiabilidade e desempenho. Estes programadores têm a capacidade de realizar o comando de bombas, válvulas, equipamentos de fertirrega e recebem leituras de contadores de caudal e diversos tipos de sondas.

1.1.9. Outras condicionantes

O cliente pretende que o projecto cumpra duas premissas. O traçado das condutas principais deve seguir sempre os caminhos existentes. Esta opção acarreta normalmente um custo inicial superior mas é tecnicamente aconselhável por permitir que no futuro seja mais simples reparar eventuais roturas nas condutas que, na prática, acontecem sempre de forma esporádica.

O cliente pretende igualmente que as linhas laterais sejam contínuas desde o início ao final das linhas de plantação, isto é, que o abastecimento dos laterais de gotejadores parta de um dos topos das linhas de plantação e alcance por completo o final das linhas, sem qualquer divisão pelo meio. Tecnicamente esta opção poderá não ser a melhor e será necessário atestar a sua viabilidade.

1.2. Dimensionamento do sistema - amêndoa

Depois de se obterem os dados junto do cliente, importa iniciar o dimensionamento do sistema. Conforme as pretensões do cliente, existe aqui um grau de liberdade maior ou menor para o projectista idealizar o sistema.

O dimensionamento é realizado separadamente para a amêndoa e para a romã mas no final terão em conjunto de cumprir as condicionantes do projecto.

1.2.1. Dados de *input*

1.2.1.1. Necessidades hídricas de ponta do sistema

O valor tabelado na empresa para a cultura da amêndoa é de 8 mm/dia para o mês de Julho, normalmente o mês mais quente em Portugal. Este valor corresponde a uma dotação útil diária para a cultura de cerca de 7 mm, considerando uma eficiência do sistema de rega de 90%.

As considerações feitas sobre este cálculo encontram-se no capítulo 1.6.

1.2.1.2. Horas disponíveis para rega

14 horas no máximo, limitadas pela disponibilidade da bombagem da barragem.

1.2.1.3. Compasso de plantação

5 x 1,50 m.

1.2.1.4. Compasso dos emissores

Escolhido pelo cliente, 0,50 m de espaçamento na linha, com espaçamento na entrelinha equivalente à cultura, ou seja, 5 m.

1.2.1.5. Débito dos gotejadores

Conforme pretendido pelo cliente, $2,2 \text{ l.h}^{-1}$, que estão em conformidade com as opções que o fornecedor da Magos Irrigation Systems dispõe relativamente a este equipamento, conforma consta da figura seguinte que resume toda a gama de diâmetros externos e internos, espessuras de parede, débitos e pressões máximas admissíveis segundo a espessura da parede no tubo gotejador mais apropriado a esta situação:

Operating guidelines

Constant inside diameter regardless of drip line wall thickness:

12mm - I.D. 10,4 mm
Wall thickness: 25, 35, 40 mil
(0,6, 0,9, 1,0 mm)
Flow rate: 1,05 lph

16mm - I.D. 13,8 mm
Wall thickness: 35, 40, 45 mil
(0,9, 1,0, 1,1 mm)

17mm - I.D. 15,3 mm
Wall thickness: 35, 40, 45, 47 mil
(0,9, 1,0, 1,1, 1,19 mm)

20mm - I.D. 17,6 mm
Wall thickness: 35, 40, 45, 47 mil
(0,9, 1,0, 1,1, 1,19 mm)
Flow rates: 1,2, 1,6, 2,2, 3,6 lph

Operating pressure range: 0,8-3,5 bar

Max. pressure according to wall thickness:

25 mil - 2,5 bar;

35 mil - 3,0 bar;

40 - 47 mil - 3,5 bar

Figura 1.1: Gama de produtos do tubo gotejador *Hydro PC* da *Rivulis*.

Fonte: http://rivulis.com/wp-content/uploads/2014/11/hydro_pc_int.pdf, consultado a 03-06-2016.

Note-se que, em Portugal, só se trabalha geralmente com tubo de 16 ou de 20 mm, pelo que só estes são comercializados pela Magos Irrigation Systems.

Este tipo de tubo gotejador possui gotejadores autocompensantes instalados em linha, com dois orifícios por gotejador, minorando a possibilidade de entupimento total de uma saída. Infelizmente, os dados técnicos referentes à uniformidade não se encontram disponíveis no catálogo.

1.2.1.6. Número de linhas de gotejadores por linha de plantação

Linha simples, ou seja, uma linha de gotejadores por linha de plantação.

1.2.2. Dados de output

Os dados de *output* são os dados calculados que servem de base ao dimensionamento do sistema. De seguida apresentam-se os cálculos realizados.

a) *Caudal por planta:*

$$8 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1} * 5 \text{ m} * 1,5 \text{ m} = 60 \text{ l} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$$

b) *Número de emissores por planta:*

$$\frac{5 \text{ m} * 1,5 \text{ m}}{5 \text{ m} * 0,5 \text{ m}} = 3 \text{ emissores} \cdot \text{planta}^{-1}$$

c) *Tempo de rega por sector:*

$$\frac{60 \text{ l.planta}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}}{3 \text{ emissores.planta}^{-1} * 2,2 \text{ l.h}^{-1}} = 9,09 \text{ h} \leftrightarrow 9 \text{ h } 6 \text{ min}$$

d) *Número de sectores:*

$$\frac{14 \text{ h}}{9,09 \text{ h}} = 1,54 \rightarrow 1 \text{ sector}$$

e) *Área média de cada sector:*

$$\frac{18,2 \text{ ha}}{1 \text{ sector}} = 18,2 \text{ ha}$$

f) *Tempo total efectivo de rega:*

$$1 \text{ sector} * 9,09 \text{ h} = 9,09 \text{ h} \leftrightarrow 9 \text{ h } 6 \text{ min}$$

g) *Caudal médio por sector:*

$$\frac{18,2 \text{ ha} * 10000 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}}{5 \text{ m} * 0,5 \text{ m}} * 2,2 \text{ l.h}^{-1} = 160,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

h) *Necessidades diárias da área total:*

$$160,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} * 9,09 \text{ h} = 1456 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$$

1.3. Dimensionamento do sistema - romã

1.3.1. Dados de *input*

1.3.1.1. Necessidades hídricas de ponta do sistema

Para a cultura da romã estão tabeladas necessidades diárias do sistema de 8 mm/dia durante o mês de Julho, correspondendo igualmente a 7 mm/dia de dotação útil num sistema com uma eficiência de 90%.

1.3.1.2. Horas disponíveis para rega

A rega está limitada por um período máximo de 14 horas, tendo que partilhar de alguma forma esse período com a cultura da amêndoa. Dado que a cultura da amêndoa apenas utilizará $160 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, a bombagem existente apresenta ainda $65 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ disponíveis relativamente ao valor de caudal de referência, $225 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. Outra alternativa é que a rega da romã decorra no tempo disponível ainda entre as 9 horas e 6 minutos necessárias para a rega da amêndoa e as 14 horas de limite máximo total.

1.3.1.3. Compasso de plantação

5 x 3 m.

1.3.1.4. Compasso dos emissores

O cliente optou por gotejadores espaçados a 0,75 m na linha e entrelinha de 5 m, igual à entrelinha da cultura.

1.3.1.5. Débito dos gotejadores

O cliente pretende 2 l.h^{-1} . No entanto, o equipamento do fornecedor da Magos Irrigation Systems mais aconselhado a esta situação possui um débito de $2,2 \text{ l.h}^{-1}$. O cliente concordou com a opção.

1.3.1.6. Número de linhas de gotejadores por linha de plantação

Linha dupla, ou seja, duas linhas de laterais com gotejadores por linha de plantação. Na fase inicial da cultura apenas será instalada uma linha, no entanto esse facto é irrelevante para o dimensionamento, dado que o sistema terá desde logo de estar preparado para o pior cenário.

1.3.2. Dados de output

a) *Caudal por planta:*

$$8 \text{ mm.dia}^{-1} * 5 \text{ m} * 3 \text{ m} = 120 \text{ l.planta}^{-1}.\text{dia}^{-1}$$

b) *Número de emissores por planta:*

$$\frac{5\text{ m} * 3\text{ m}}{5\text{ m} * 0,75\text{ m}} * 2\text{ linhas} = 8\text{ emissores.planta}^{-1}$$

c) *Tempo de rega por sector:*

À partida existem duas possibilidades para a rega da cultura da romã: ou a cultura é regada durante as quase 5 horas que existem de folga entre as 14 horas disponíveis no total e as 9 horas em que o sistema estará a regar a cultura da amêndoa, ou a rega da romã terá que decorrer em simultâneo com amêndoa. O cálculo do tempo de rega por sector permite aferir imediatamente se a primeira hipótese é viável face ao equipamento pretendido pelo cliente.

$$\frac{120\text{ l.planta}^{-1}.\text{dia}^{-1}}{8\text{ emissores.planta}^{-1} * 2,2\text{ l.h}^{-1}} = 6,82\text{ h} \leftrightarrow 6\text{ h } 49\text{ min (considerem – se 6 h 50 min)}$$

Dado que o tempo para regar cada sector da romã será de 6 horas e 49 minutos, não é possível regar separadamente a cultura da amêndoa e da romã.

d) *Número de sectores:*

Assim, a única possibilidade face às condições propostas pelo cliente é que a cultura da romã seja regada em simultâneo com a cultura da amêndoa, pelo que se considera que existem 14 horas para se efectuar a rega.

$$\frac{14\text{ h}}{6,82\text{ h}} = 2,05 \rightarrow 2\text{ sectores}$$

e) *Área média de cada sector:*

$$\frac{10,0\text{ ha}}{2\text{ sectores}} = 5,0\text{ ha}$$

f) *Tempo total efectivo de rega:*

$$2\text{ sectores} * 6,82\text{ h} = 13,64\text{ h} \rightarrow 13\text{ h } 39\text{ min (considerem – se 13 h 40 min)}$$

g) Caudal médio por sector:

O caudal médio por sector é o último cálculo que permitirá aferir se é possível que a cultura da romã regue em simultâneo com a cultura da amêndoa. Dado que à entrada do cabeçal estão disponíveis $225 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, com uma pressão de 3 kgf.cm^{-2} , e dificilmente o sistema poderá funcionar com uma pressão inferior, o caudal disponível para a cultura da romã é de cerca de $65 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$.

$$\frac{5,0 \text{ ha} * 10000 \text{ m}^2.\text{ha}^{-1}}{5 \text{ m} * 0,75 \text{ m}} * 2,2 \text{ l}.\text{h}^{-1} * 2 \text{ linhas} = 58,7 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$$

Cada sector da romã exige menos de $65 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$, pelo que esta opção técnica é viável face às condições propostas. Contudo, note-se que o tempo total de rega para a amêndoa – 9 horas e 6 minutos – difere do tempo total de rega para a romã – 13 horas e 40 minutos. Para assegurar que ambas as culturas recebem a dotação de rega correcta no período de ponta, a gestão da rega terá de ser realizada da seguinte forma:

- durante as primeiras 4 horas e 33 minutos, o sistema rega o sector da amêndoa em simultâneo com o designado “sector 1” da romã;
- durante as seguintes 4 horas e 33 minutos, o sistema continua a regar o sector da amêndoa e rega em simultâneo o designado “sector 2” da romã;
- ao fim desse período, a cultura da amêndoa termina a rega mas o sistema continua durante mais 4 horas e 34 minutos a regar os dois sectores da romã em simultâneo.

h) Necessidades diárias da área total:

$$58,5 \text{ m}^3.\text{h}^{-1} * 13,66 \text{ h} = 800 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$$

1.4. Desenho do sistema

O desenho do sistema está intimamente ligado à componente hidráulica do sistema. Um projectista com experiência tem maior facilidade nesta fase do projecto, dado que consegue integrar mais facilmente as opções que toma no desenho com as consequências hidráulicas que essas opções implicam.

O desenho está muito longe de exigir que se usem todas as potencialidades que os programas de desenho informático possuem, pelo que a sua aprendizagem é relativamente simples. Existem inclusivamente alternativas gratuitas que qualquer pessoa pode utilizar.

Todas as acções que se desenvolvam no desenho são realizadas à escala. O programa funciona numa lógica de camadas, cada qual podendo ser activada ou

desactivada, consoante aquilo que é útil e mais prático visualizar em cada situação. Por exemplo, existe uma camada específica para as curvas de nível, mas nem todas as situações exigem que estas estejam visíveis, sendo muito fácil desactivá-las para se obter uma melhor visualização do objectivo pretendido.

1.4.1. Laterais

O dimensionamento dos laterais é o primeiro passo na fase de desenho, uma vez que o comprimento máximo admissível para os laterais é uma limitante para a divisão em sectores e em blocos.

As condutas laterais correspondem às linhas de plantação já definidas no levantamento topográfico fornecido pelo cliente. Uma vez que este pretende que as linhas de emissores sejam contínuas de topo a topo nas 6 parcelas definidas no levantamento topográfico, interessa avaliar em primeiro lugar se essa situação é possível, isto é, se os laterais podem alcançar esse comprimento com uma uniformidade suficiente e nesse caso que pressão será necessária à entrada dos laterais para que estes atinjam esse dado comprimento.

O comprimento máximo admissível para os laterais segundo a pressão à entrada da linha e o declive consta dos dados técnicos que o fornecedor tem à disposição, no qual relaciona o diâmetro e o débito do tubo gotejador com a pressão de entrada.

Para facilitar esta tarefa, determinou-se através do levantamento topográfico o comprimento máximo dos blocos definidos para a cultura, conforme se encontra no anexo 1.3. O programa permite obter facilmente estas medidas. Por uma questão prática, foram atribuídas letras para designar cada uma das parcelas de plantação no desenho. Para cada parcela apenas surge representada a linha de plantação com maior comprimento.

É possível verificar que nas parcelas A, B, C e D, o comprimento máximo ronda sempre os 200 metros, enquanto na parcela D na sua zona mais desfavorável alcança os 280 metros. Na parcela E, a linha mais comprida não excede os 150 metros.

Convencionalmente, utiliza-se tubo gotejador com 16 mm de diâmetro por ser mais barato e por ser suficiente para a maioria das situações propostas. Através da consulta dos dados técnicos verifica-se que os laterais com as características pretendidas para a cultura da amêndoa não devem exceder os 173 metros em terreno plano, um valor aquém do necessário, e isto admitindo que à entrada das linhas haveria uma pressão disponível de 3 bar, o que é manifestamente impossível dado essa ser a pressão disponível no cabeçal e porque as parcelas A e B se desenvolvem a cotas superiores.

Os laterais beneficiarão de um desnível positivo que até pode alcançar os 2% em algumas zonas mas o comprimento máximo ainda assim não poderia superar os 181 m.

Torna-se assim evidente que o tubo de 16 mm é insuficiente para o projecto. A opção recai sobre o tubo com 20 mm de diâmetro, apto a comprimentos até 222 m com 2 bar à entrada da linha e 118 m com 1 bar à entrada da linha, considerando terreno plano.

Na cultura da romã, o tubo de 16 mm com o débito e espaçamento pretendidos (2,2 l.h⁻¹ a 0,75 m) também só alcançaria 225 m em terreno plano (considerando 0,7 m de espaçamento, dado que o fornecedor não tem os dados para 0,75 m de espaçamento em específico), muito longe dos 280 m que se pretendem. A opção terá de ser novamente o tubo de 20 mm, apto a 286 m ou 151 m de comprimento máximo respectivamente com 2 e 1 bar à entrada da linha, em terreno plano.

1.4.2. Sectores

A divisão em sectores é uma tarefa potencialmente onerosa em termos de mão-de-obra para o projectista. O projectista necessita de uma visão abrangente do sistema para que o projecto seja equilibrado entre o ponto de vista técnico e o ponto de vista económico. É frequentemente necessário ponderar-se várias opções e no final escolher aquela que será mais vantajosa. Por vezes, a divisão em sectores é sujeita previamente à aprovação do cliente, dado que este possui na esmagadora maioria das vezes uma ideia pré-concebida para a implementação do sistema que será relevante na hora de optar entre as diversas opções técnicas que lhe são apresentadas por diferentes empresas.

Neste projecto, a divisão em sectores está simplificada face a todas as condicionantes que envolvem o projecto. A amêndoa regará como um só sector em simultâneo, pelo que não existe qualquer divisão a fazer. Pelo contrário, a área de romã terá que ser dividida em dois sectores o mais idênticos possível. A geometria dos blocos adoptados para a cultura da romã é favorável e permite que cada uma das duas parcelas corresponda exactamente a cada um dos sectores de rega, ainda que haja uma diferença na área entre elas.

Esta possibilidade confirma-se fazendo o cálculo para o caudal de projecto da parcela D, a parcela que apresenta uma área maior:

$$\frac{53600 \text{ m}^2}{5 \text{ m} * 0,75 \text{ m}} * 2,2 \text{ l. h}^{-1} * 2 \text{ linhas} = 62,9 \text{ m}^3. \text{h}^{-1}$$

Dado que o caudal disponível são cerca de 65 m³.h⁻¹ para regar cada sector da cultura da romã em simultâneo com o sector único da amêndoa, esta opção é viável. O esquema de sectores de rega encontra-se no anexo 1.4.

1.4.3. Blocos de rega

Designe-se por bloco, uma área de rega que é controlada por uma só válvula. Cada sector pode ser constituído apenas por um ou por vários blocos.

A divisão em blocos é realizada por diversos motivos, quer hidráulicos, quer agronómicos. Em termos hidráulicos, a divisão em blocos é fundamental como forma de obter uniformidades de rega satisfatórias e para evitar a instalação de equipamentos e condutas de grandes dimensões. Em termos agronómicos, a divisão em blocos permite uma maior versatilidade na gestão da rega, fazendo a divisão entre zonas com tratamento potencialmente diferenciado.

Idealmente um sistema com um elevado número de blocos terá uma uniformidade superior, dado que a válvula de comando à entrada de cada bloco realiza a regulação de pressão e, à partida, quando mais pequenos forem os blocos, menor será a variação de pressão ao longo das várias linhas e dos vários emissores. No entanto, um elevado número de blocos encarece significativamente o sistema ao exigir um maior número de válvulas e cabos de comando para a sua automatização.

A divisão em blocos foi realizada tendo em conta as parcelas definidas para a cultura e tendo em consideração que o cliente pretende linhas de emissores contínuas entre as cabeceiras das linhas de plantação. O cálculo dos caudais para cada uma das parcelas é um primeiro passo que ajuda neste trabalho, conforme apresentado no anexo 1.5. Ainda sem se considerar qualquer raciocínio hidráulico, em termos práticos raramente se recorre a válvulas com dimensão superior a 4 polegadas para comandar cada bloco de rega, já que se tornam equipamentos demasiado onerosos, sendo mais favorável do ponto de vista económico e técnico optar por um número maior de blocos com condutas de menor dimensão.

Desde logo constata-se que, com um caudal de $74 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, como se encontra estimado para a parcela B, exigiria uma válvula e porta-ramais de dimensões significativas que teriam um elevado custo de aquisição e instalação.

Do ponto de vista hidráulico, a topografia também impõe algumas restrições à formulação dos blocos de rega. No caso das parcelas A e B, existem desníveis significativos entre os pontos mais favoráveis e mais desfavoráveis, que poderão colocar em causa a uniformidade de rega, mesmo considerando que, sendo estas parcelas abastecidas cada uma por uma conduta porta-ramais a partir do seu ponto mais elevado, as perdas de carga nessa conduta contrariam o efeito do desnível.

A parcela B é assim dividida em dois blocos de rega o mais equivalentes possível em área e caudal e que reduzem as diferenças de cota entre os pontos mais favoráveis e mais desfavoráveis.

A parcela A pelo caudal não tem necessidade de ser dividida. No entanto, existe uma diferença de cota de 12 metros entre o ponto mais favorável do traçado da conduta porta-ramais e o ponto menos favorável, que afectaria a uniformidade de rega. Por outro lado, do ponto de vista prático, o referido bloco ganha pertinência se for dividido na continuidade da divisão efectuada na parcela B.

As parcelas C, D, E e F não apresentam à partida necessidade de serem divididas, pelo que cada uma destas formará um bloco de rega.

A divisão considerando os blocos encontra-se no anexo 1.6. Esta divisão serve de ponto de partida para os passos seguintes mas nunca pode ser tida nesta fase como definitiva. Será através do dimensionamento hidráulico que se atestará a sua viabilidade.

1.4.4. Cabeçais de válvulas dos blocos

Na prática os cabeçais de válvulas são os pequenos troços de conduta localizados entre as condutas principais e os porta-ramais, que servem de suporte às válvulas que fazem o controlo, manual ou automático, e a regulação da pressão à entrada do bloco de rega. Por se tratarem de pontos elevados, incorporam também uma válvula de purga de ar e é frequente possuírem pelo menos um manómetro.

Normalmente estes troços vêm sempre até à superfície como forma de garantir uma maior fiabilidade das válvulas, mesmo quando são automáticas, e uma maior facilidade na sua manutenção. Pode mesmo acontecer que, na avaria de uma válvula automática, o agricultor já possua outra válvula idêntica que prontamente pode montar no seu lugar, com prejuízo mínimo para a cultura até que a válvula seja reparada.

Por uma questão de durabilidade e de acordo com o período de vida útil deste projecto e o tempo de permanência da cultura no terreno, os cabeçais de bloco desenvolvem-se frequentemente em ferro galvanizado, mas em alguns casos são também em policloreto de vinilo (PVC) ou, mais raramente, em polietileno (PE).

A escolha da localização das válvulas baseia-se num equilíbrio técnico e económico. Em termos económicos é preferível agregar várias válvulas num só cabeçal, reduzindo-se os custos não só no material, mas também na montagem. Por outro lado, a localização destes cabeçais influencia os traçados e os diâmetros das condutas principais e porta-ramais, e por conseguinte no seu custo.

Em termos técnicos, a localização dos cabeçais de bloco deve ser aquela que garanta uma maior uniformidade de rega. Este objectivo passa por garantir que todas as linhas laterais possuem pressão suficiente à entrada e que essa pressão tem a menor variação possível ao longo do bloco. Em situações em que haja declives significativos, é

necessário verificar se a pressão nunca excede, em nenhum ponto, a pressão máxima admissível para os porta-ramais e para os laterais.



Figura 1.2: Exemplo de cabeçal de bloco em ferro galvanizado. À esquerda é possível ver a conduta principal que o abastece e à direita encontra-se a conduta porta-ramais.

Em projectos como este, em que existem limitações de pressão para o funcionamento do sistema, o posicionamento mais favorável parte do princípio de que a água realiza o trajecto mais curto até ao emissor, minorando as perdas de carga, e que o declive é aproveitado da melhor forma para contrabalançar as perdas de carga.

Nos blocos 1 a 5 e no bloco 7 a opção por colocar o cabeçal à extrema do bloco parece a mais lógica atendendo a que são os pontos mais próximos da origem da água e que estarão colocados nos pontos mais altos dos respectivos blocos.

Nos blocos 6 e 8 a opção é menos evidente mas a localização do cabeçal à extrema do bloco continua a parecer viável e na prática torna o desenho do sistema simples.

Estas localizações, conforme se podem ver no anexo 1.7, são meramente provisórias e à semelhança da divisão em blocos, posteriormente terão de ser estudadas do ponto de vista hidráulico.

1.4.5. Porta-ramais

Os porta-ramais distribuem a água desde os cabeçais de válvulas dos blocos até aos ramais laterais. Assim, o seu traçado segue sempre a cabeceira dos respectivos blocos comandados desde os cabeçais até à linha de plantação no extremo do respectivo bloco (anexo 1.8).

Os porta-ramais são na maioria das vezes em polietileno (PE), dada a sua flexibilidade, montagem fácil em diâmetros reduzidos (dado que é comercializado em rolos de 50 ou 100 m) e por permitirem uma ligação económica e de fácil instalação dos laterais.

Nas extremidades finais dos porta-ramais, estes sobem até à superfície do terreno e são instaladas válvulas de esfera com o intuito de purgar o sistema, sempre que se revele necessário ou, no mínimo, uma vez por ano para manutenção do sistema.

1.4.6. Conduatas principais

As conduatas principais conduzem a água desde o novo cabeçal de rega até aos cabeçais dos blocos. O material mais utilizado é o PVC, pelo seu custo e facilidade de montagem. Em terrenos mais exigentes, sobretudo com mais pedras, justifica-se a opção por conduatas em PE, significativamente mais caras, mas com uma plasticidade e elasticidade que as tornam menos propícias a roturas.

Dado que o cliente não pretende ter as conduatas a atravessar o interior dos blocos, estas seguem sempre os caminhos, desde o cabeçal até às respectivas válvulas dos blocos de rega (anexo 1.9).

1.5. Dimensionamento hidráulico

1.5.1. Laterais

O dimensionamento hidráulico dos laterais tem por objectivo determinar a pressão necessária à entrada das linhas para cada bloco. A forma mais rigorosa de fazer este cálculo é através de programas de cálculo hidráulico. Manualmente é necessário recorrer novamente às tabelas do fornecedor que relacionam a pressão à entrada da linha, o declive e o diâmetro do tubo com o comprimento máximo admissível para os laterais. Naturalmente que o rigor no cálculo manual é inferior, em especial quando o terreno é irregular, como é este o caso.

A figura seguinte apresenta os comprimentos máximos para o tubo gotejador *Hydro PC* com 20 mm de diâmetro e um débito de $2,2 \text{ l.h}^{-1}$.

Pressure (bar)	Slope (%)	Emitter Spacing (m)									
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.25	1.50
1.0	0	57	79	99	118	135	151	166	195	229	260
	2	65	95	124	152	179	205	231	282	344	405
	4	72	107	142	177	211	244	278	344	425	504
1.2	0	72	101	127	151	173	194	214	250	293	333
	2	79	115	148	180	211	242	271	328	396	464
	4	85	126	165	204	241	278	314	385	473	558
1.4	0	83	116	146	174	199	223	246	290	339	384
	2	89	129	166	201	235	268	300	362	435	507
	4	95	139	182	223	263	302	341	416	509	599
1.6	0	91	128	162	192	221	248	273	321	376	426
	2	98	140	180	218	254	289	323	389	468	543
	4	103	150	195	239	281	323	363	442	538	632
1.8	0	99	139	175	208	239	268	296	348	408	462
	2	105	150	192	233	271	308	344	413	495	575
	4	110	159	207	253	297	340	382	464	564	660
2.0	0	105	148	186	222	255	286	315	371	435	494
	2	111	158	203	245	286	324	362	434	520	602
	4	116	168	217	265	311	356	399	484	586	686
2.2	0	111	156	197	234	269	302	334	392	459	522
	2	116	166	213	257	299	339	378	453	541	627
	4	121	175	226	276	323	370	414	502	608	708
2.4	0	116	164	206	246	282	316	350	411	481	548
	2	121	173	222	268	311	353	393	470	561	650
	4	126	182	235	286	335	382	429	518	626	731
2.6	0	121	170	215	256	294	330	365	429	503	570
	2	126	180	230	277	322	365	407	487	581	671
	4	130	188	243	296	346	395	442	534	644	750
2.8	0	126	177	223	266	305	343	378	445	521	593
	2	130	186	238	287	332	377	420	502	599	690
	4	135	194	250	304	356	406	454	548	660	770
3.0	0	130	182	230	275	316	355	391	460	540	614
	2	134	192	245	295	343	388	432	516	615	710
	4	139	200	257	313	365	417	466	562	676	786

Figura 1.3: Comprimentos máximos admissíveis para o tubo *Hydro PC* de 20 mm.

Fonte: http://rivulis.com/wp-content/uploads/2014/11/hydro_pc_int.pdf, consultado a 03-06-2016.

A determinação dos declives mínimos a considerar foi feita graficamente de forma muito expedita. Através do programa de desenho (anexo 1.10), o declive médio pode-se determinar pelo quociente entre a diferença de cota entre duas curvas de nível e o comprimento que elas distam, medido no sentido dos laterais, no ponto mais desfavorável, ou seja, onde as linhas se encontrem mais afastadas. Os valores apurados figuram no quadro seguinte e o anexo 1.11 apresenta os ramais.

Quadro 1.1: Pressões mínimas necessárias à entrada dos laterais.

Bloco	1	2	3	4	5	6	7	8
Comprimento (m)	180	200	200	200	200	200	150	280
Declive mínimo (%)	>1%	>1%	>1%	>1%	>1%	>1%	>1%	>1%
Pressão mínima (m)	15	17	17	17	17	12	12	20

Uma vez que se trata de um projecto com pressão limitada, apurou-se o melhor possível este valor. Assim, sempre que se justificou, interpolaram-se os comprimentos máximos admissíveis para os valores de pressão intermédios que não constam da tabela para uma situação sem desnível. O valor de pressão foi considerado aceitável desde que o comprimento máximo interpolado fosse igual ou superior ao requerido para cada bloco.

Por exemplo, para os laterais com espaçamento a 0,5 m, interpolou-se o valor do comprimento máximo de pressão para uma pressão de 1,7 bar em terreno nivelado – 200 m

– que corresponde ao comprimento requerido nos blocos 2 a 5. Sendo um valor à justa, é seguro utilizá-lo por não estarmos a considerar ainda o efeito do declive.

1.5.2. Porta-ramais

Os porta-ramais, conforme referido anteriormente, desenvolvem-se em polietileno, neste caso de baixa densidade devido à reduzida pressão que estas condutas terão que suportar. Os porta-ramais são dimensionados segundo várias premissas, nomeadamente que a velocidade não excede os 2 m.s^{-1} ou, caso isso aconteça, seja apenas no troço inicial, são dimensionadas considerando o número de saídas que estas possuem, ou seja, o valor apurado para as perdas de carga é multiplicado por um factor F definido por Christiansen e por último têm em consideração que a variação na pressão à entrada do lateral mais favorável e mais desfavorável não supera os 20% - o que será confirmado posteriormente (Christiansen, 1942).

O cálculo das perdas de carga unitárias foi realizado com recurso à fórmula de Hazen-Williams, que se adapta a condutas concebidas em diversos materiais mediante a adaptação de um factor de rugosidade C que se encontra tabelado. Esta fórmula toma a seguinte forma para unidades do sistema internacional:

$$s = \frac{10,67 \cdot Q^{1,85}}{C^{1,85} \cdot d^{4,87}} \quad [1.1]$$

sendo:

s (m.m^{-1}) – a perda de carga unitária;

Q ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) – o caudal que atravessa a conduta num determinado troço;

C – coeficiente de rugosidade de Hazen Williams;

d (m) – diâmetro interno da conduta.

Uma folha em Excel torna o cálculo das perdas de carga bastante expedito, bastando para isso inserir os dados de *input* – tipo de conduta, pressão nominal da conduta, comprimento da conduta, diâmetro da conduta, caudal e número de saídas, caso se aplique – a partir dos quais a folha fornece as perdas de carga unitária e total no referido troço e a velocidade de escoamento.

Nos porta-ramais apenas se utilizam condutas com diâmetro superior a 90 mm em caso de estrita necessidade, dado que a partir desse diâmetro a conduta é comercializada e montada em varas, o que acresce significativamente o custo de montagem, e apenas é comercializada com pressão nominal de 6 kgf.cm^{-2} ou superior. Uma vez que os laterais não trabalham com pressões superiores a $3,5 \text{ kgf.cm}^{-2}$, não se justifica pelo seu custo superior a

adopção de condutas de PE de alta densidade com pressões nominais de 6 kgf.cm⁻², aplicando-se nesta situação condutas em PE de baixa densidade, com pressão nominal de 4 kgf.cm⁻².

O cálculo das perdas de carga contínuas das condutas porta-ramais ($h_{l_{p-ra}}$) não teve em consideração as eventuais limitações na pressão disponível. Os comprimentos foram arredondados sempre por excesso, permitindo que os cálculos tenham uma pequena folga.

O quadro seguinte resume os dados de *input* e de *output* no cálculo das perdas de carga nos porta-ramais para os diferentes diâmetros que se adaptam respectivamente a cada um dos blocos. A verde encontram-se assinalados os diâmetros escolhidos. O cálculo da perda de carga segundo a fórmula de Hazen-Williams foi realizado considerando um coeficiente de rugosidade de 150, que se aplica a todas as condutas em plástico (PE e PVC).

Quadro 1.2: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nos porta-ramais.

Bloco	Comp. (m)	Q (m ³ .h ⁻¹)	Nº saídas	F	DE (mm)	DI (mm)	v (m/s)	$h_{l_{p-ra}}$ (m)
1	185	17,6	25 (24)	0,372	63	55,4	2,03	4,52
					75	66,0	1,43	1,93
	120	2,8	11	0,397	40	35,2	0,80	0,95
					50	44,0	0,51	0,32
2	220	36,0	42 (40)	0,364	90	79,2	2,03	3,44
					110	99,4	1,29	1,14
3	180	36,7	35	0,365	90	79,2	2,07	2,94
					110	99,4	1,31	0,97
	205	5,5	12	0,394	40	35,2	1,57	5,60
					50	44,0	1,01	1,93
4	215	37,3	42 (40)	0,364	90	79,2	2,11	3,58
					110	99,4	1,34	1,19
5	180	25,7	35	0,365	75	66,0	2,09	3,69
					90	79,2	1,45	1,52
6	275	62,9	53 (50)	0,361	90	79,2	3,55	12,03
					110	99,4	2,25	3,98
7	100	7,1	19	0,377	40	35,2	2,03	4,20
					50	44,0	1,30	1,42
8	275	54,6	53 (50)	0,361	90	79,2	3,08	9,26
					110	99,4	1,96	3,06

Nota: os diâmetros escolhidos encontram-se assinalados a verde.

*Os valores entre parêntesis representam o número de saídas consideradas no valor do factor F.

As condutas porta-ramais dos blocos 1 e 3 foram divididas em dois troços distintos devido às suas características bastante distintas. Em ambas as situações se verifica que

existe um primeiro troço que abastece a maioria das linhas de plantação e do qual parte grande parte do caudal, enquanto o segundo troço tem uma grande extensão em ambos os casos, mas abastece apenas algumas linhas de plantação marginais.

Nos blocos 1 a 5 e no bloco 7, as condutas escolhidas possuem sempre velocidades ligeiramente superiores a 2 m.s^{-1} mas tal não é relevante uma vez que se tratam de velocidades que se verificam apenas no troço inicial, após o cabeçal da válvula do bloco.

Nos blocos 6 e 8, verifica-se que os porta-ramais até 90 mm são inviáveis face às premissas anteriores. A este ponto, vale a pena recuar nas opções tomadas na fase de desenho e verificar se existe alguma alteração seja vantajosa do ponto de vista económico e que não comprometa a componente hidráulica.

Na definição da localização dos cabeçais dos blocos, segundo o anexo 1.7, optou-se por colocá-los à extrema dos blocos, com o porta-ramais a desenvolver-se apenas para um dos lados. No entanto, observando as curvas de nível verifica-se que é viável serem instalados no centro dos respectivos blocos sem aumentarem significativamente a pressão necessária na válvula. Com o cabeçal centrado no bloco e os porta-ramais a partirem para ambos os extremos, o caudal total do bloco será dividido, possibilitando que os porta-ramais tenham um menor diâmetro, conforme se apresenta no anexo 1.12.

Realizou-se um novo estudo hidráulico para os porta-ramais dos blocos 6 e 8, tendo em consideração estas alterações. Uma vez que agora se tratam de condutas que se desenvolvem para ambas as extremas dos respectivos blocos, os cálculos são independentes relativamente a cada um dos troços.

Quadro 1.3: Redimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nos porta-ramais dos blocos 6 e 8.

Bloco	Comp. (m)	Q ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	Nº saídas	F	DE (mm)	DI (mm)	v (m/s)	hl _{p-ra} (m)
6	140	31,9	27 (26)	0,370	90	79,2	1,80	1,79
					110	99,4	1,14	0,59
	135	31,0	26	0,370	90	79,2	1,75	1,64
					110	99,4	1,11	0,54
8	140	34,2	27 (26)	0,370	90	79,2	1,93	2,04
					110	99,4	1,23	0,67
	135	20,4	26	0,370	75	66,0	1,66	1,84
					90	79,2	1,15	0,76

Nota: os diâmetros escolhidos encontram-se assinalados a verde.

*Os valores entre parêntesis representam o número de saídas consideradas no valor do factor F.

Esta nova opção altera também os diâmetros das condutas principais. Assim, o investimento inicial em condutas principais será superior, dado que os cabeçais dos blocos se situam mais distantes, mas economiza-se em condutas dos porta-ramais. As condutas

em PE têm um custo mais elevado do que as condutas em PVC para diâmetros equivalentes. O anexo 1.13 apresenta esta versão final dos porta-ramais.

1.5.3. Cabeçais de válvulas dos blocos

1.5.3.1. Condução de ligação

Os cabeçais de válvulas neste projecto serão desenvolvidos em ferro galvanizado, por se tratar de um sistema que à partida terá um período de vida útil longo. Em condutas de ferro galvanizado, dado o seu custo muito elevado e o facto de se tratar de troços muito curtos aplicados a situações específicas, admite-se que a velocidade de escoamento da água alcance os $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ ou excepcionalmente até 3 m.s^{-1} .

O cálculo das perdas de carga contínuas para os cabeçais de válvulas ($h_{l_{cab}}$) foi realizado na folha de excel segundo a fórmula de Hazen-Williams, considerando que o coeficiente de rugosidade C é de 130 para tubagens novas de ferro. O comprimento destes troços é próximo dos 3 metros no total, divididos entre um troço ascendente ligado à condução principal, um troço horizontal curto que liga à válvula e um troço descendente que liga ao porta-ramais. Apresentam-se as opções mais viáveis para cada um dos cabeçais referentes a cada bloco.

Quadro 1.4: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nos cabeçais dos blocos.

Bloco	Comp. (m)	Q ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	DN (mm)	DI (mm)	V (m/s)	$h_{l_{cab}}$ (m)
1	3	17,6	65	59,2	1,78	0,39
			80	73,6	1,15	0,13
2	3	36,0	80	73,6	2,35	0,51
			100	92,8	1,48	0,16
3	3	36,7	80	73,6	2,40	0,53
			100	92,8	1,51	0,17
4	3	37,3	80	73,6	2,44	0,54
			100	92,8	1,53	0,18
5	3	25,7	65	59,2	2,60	0,78
			80	73,6	1,68	0,27
6	3	62,9	100	92,8	2,59	0,46
			125	117,0	1,63	0,15
7	3	7,1	40	34,8	2,08	0,96
			50	44,2	1,29	0,30
8	3	54,6	100	92,8	2,24	0,35
			125	117,0	1,41	0,11

Nota: os diâmetros escolhidos encontram-se assinalados a verde.

Nos blocos 2, 3, 4 e 8 as opções são evidentes face às premissas admitidas para o cálculo.

Nos blocos 1 e 5, seria natural a escolha pelo diâmetro de 65 mm. No entanto, os cabeçais de 65 têm um custo muito semelhante aos cabeçais de 80 mm, pelo que é preferível optar por 80 mm. Isto deve-se ao facto dos cabeçais de 65 mm exigirem uniões entre os diferentes troços bastante mais caras, que superam o custo adicional do tubo de 80 mm.

No bloco 6, apesar da opção do cabeçal de 100 mm ter uma velocidade superior a $2,5 \text{ m.s}^{-1}$, admite-se a sua escolha. Um cabeçal de 125 mm representaria um acréscimo de custo muito expressivo.

No bloco 7 repete-se a situação dos blocos 1 e 5. Uma vez que os cabeçais de 40 mm atingem um custo semelhante aos cabeçais de 50 mm, é preferível optar por estes últimos.

1.5.3.2. Válvulas

A escolha das válvulas não se trata de uma ciência exacta. As válvulas hidráulicas são componentes caros no sistema, que devem ser optimizados ao máximo. As válvulas assumem nesta situação duas funções principais: realizam o controlo da rega do bloco através da sua abertura e fecho comandado de forma manual e/ou eléctrica e realizam a regulação da pressão a jusante, para assegurar simultaneamente uma pressão suficiente para a rega, sem exceder a pressão nominal das condutas.

Apesar do corpo das válvulas estar optimizado em termos hidráulicos, isto é, a perda de carga à passagem do fluido é mínima, nem sempre esse é o objectivo pretendido. Numa válvula que actue como reguladora de pressão e que por isso tenha intrinsecamente que induzir uma perda de carga, é vantajoso optar por uma válvula de diâmetro inferior na medida em que se economiza no seu custo.

Contudo, o diâmetro da válvula também não pode ser demasiado reduzido, pois isso conduz a uma velocidade de escoamento demasiado elevada à sua passagem, o que pode originar cavitação e prejudicar gravemente a integridade e durabilidade da válvula. Tal fenómeno verifica-se também sempre que uma válvula reguladora de pressão induz uma perda de carga demasiado expressiva, que por sua vez leva a membrana a fechar e aumenta a velocidade de escoamento à sua passagem.

A escolha das válvulas recorre a ábacos que o fornecedor apresenta relativos às perdas de carga na válvula e à ocorrência de cavitação. Normalmente não se excede os 2 m de perda de carga nas válvulas mas ressalva-se sempre a situação anunciada

anteriormente. Dadas as limitações de pressão desde projecto, essa premissa será cumprida.

Headloss Chart

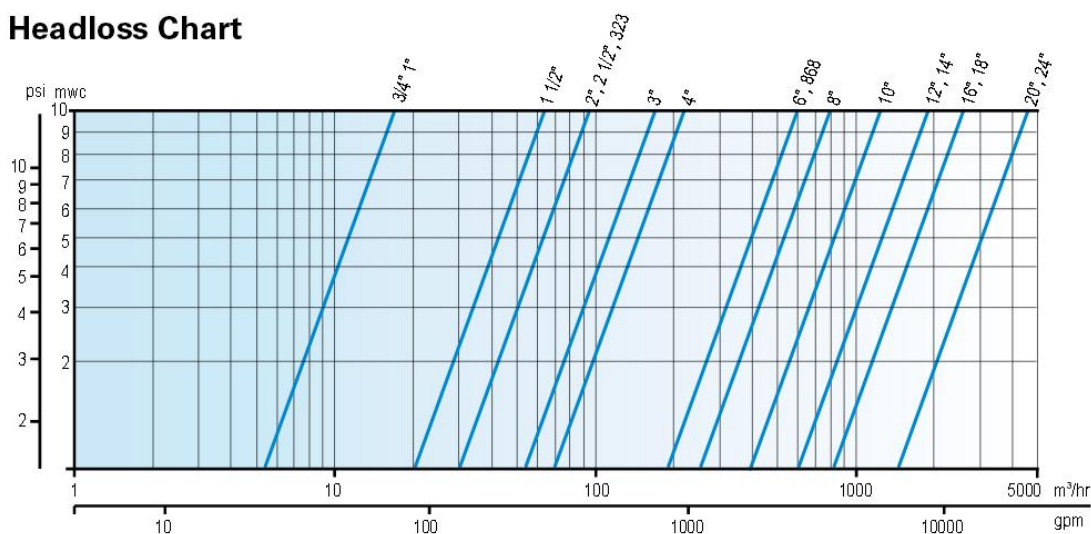


Figura 1.4: Perdas de carga nas válvulas modelo Dorot série 100 em função do caudal.

Fonte: <http://www.dorot.com/files/cfe1c4b903223057fd95e80e13410018.pdf>, consultado a 03-06-2016.

Recorrendo ao ábaco, determinaram-se as dimensões das válvulas para os respectivos blocos e a perda de carga localizada aproximada em cada uma (h_{valv}). Essa informação resume-se no quadro seguinte.

Quadro 1.5: Dimensão das válvulas e estimativa da perda de carga singular segundo a figura 1.4

Bloco	Q ($m^3 \cdot s^{-1}$)	Dimensão (")	h_{valv} (m)
1	18	2	<1
2	36	3	<1
3	37	3	<1
4	38	3	<1
5	26	2	<1
6	63	4	<1
7	8	2	<1
8	55	4	<1

Dado que em todas as situações a perda de carga na válvula é inferior a 1 m e que a perda de carga no cabeçal é sempre igual ou pouco superior a 0,5 m, considera-se doravante que no cabeçal completo a perda de carga é de 1 m.

A ocorrência de cavitação nas válvulas acontece, regra geral, quando a redução de pressão a jusante é inferior a um terço da pressão a montante, o que não acontece em nenhum caso. A pressão disponível à entrada do cabeçal principal é de 30 m e a pressão de

operação dos laterais é sempre superior a 10 m. Esse facto é corroborado pelo ábaco do fornecedor que se apresenta de seguida.

Cavitation Data

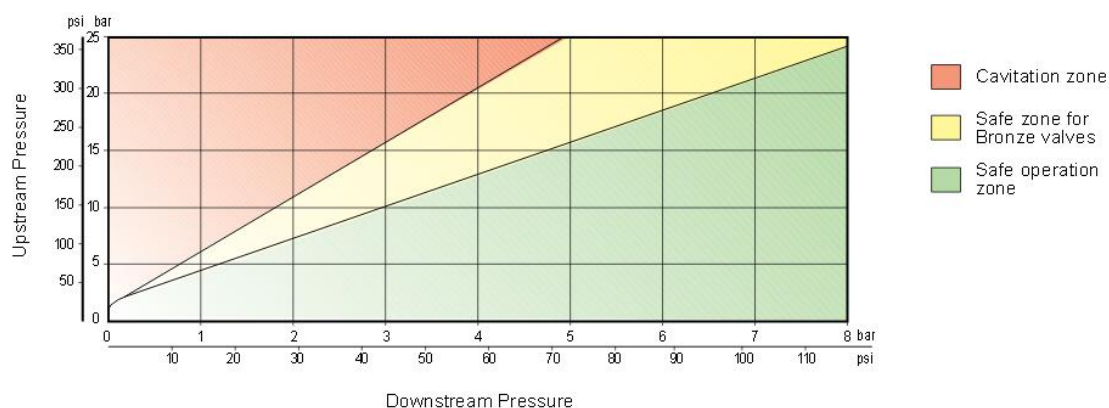


Figura 1.5: Relação entre pressão a montante e pressão a jusante da válvula hidráulica na ocorrência de cavitação.

Fonte: <http://www.dorot.com/files/cfe1c4b903223057fd95e80e13410018.pdf>, consultado a 03-06-2016.

1.5.4. Pressão de regulação das válvulas

Com o dimensionamento dos laterais, porta-ramais, cabeçais e válvulas realizado, é possível determinar a pressão necessária à entrada de cada bloco para que o sistema regue em todos os seus pontos mais desfavoráveis.

Os pontos mais desfavoráveis não são fáceis de determinar nesta situação. Nos blocos 1 a 5 e no bloco 7, as válvulas situam-se no ponto mais elevado e os porta-ramais beneficiam de um desnível positivo que contraria as perdas de carga. O ponto mais desfavorável de cada bloco está assim dependente das perdas de carga da conduta porta-ramais. Sempre que a perda de carga na conduta porta-ramais seja superior ao desnível entre o início e o final da conduta, o ponto mais desfavorável encontrar-se-á na extremidade da conduta. Pelo contrário, quando as perdas de carga dos porta-ramais são inferiores à diferença de cota entre as extremidades, os respectivos pontos mais desfavoráveis encontrar-se-ão nos primeiros metros da conduta porta-ramais.

A utilização de um *software* de dimensionamento hidráulico seria uma grande vantagem neste cálculo, permitindo obter de forma mais precisa o valor mínimo de pressão necessário em cada uma das válvulas.

Aos valores apurados para as perdas de carga nos porta-ramais, acresceram-se 10% de folga para as perdas de carga singulares e foi esse o valor que se comparou com a diferença de cota conforme apresenta o quadro seguinte.

Quadro 1.6: Comparação entre as perdas de carga nos porta-ramais e a diferença de cota entre as suas extremidades.

Bloco	hl _{p-ra} (m)	hl _{p-ra} (m) +10%	Δz (m)
1	4,52	4,98	-3
	5,47	6,02	-5
2	3,44	3,79	-6
3	2,94	3,24	-2
	8,54	9,40	-8
4	3,58	3,94	-3
5	3,69	4,06	-2
6	1,79	1,97	0
7	4,20	4,62	-3
8	2,04	2,25	0

Nota: os valores mais elevados e por conseguinte mais desfavoráveis de cada bloco encontram-se assinalados a vermelho.

Verifica-se que nos blocos 4 a 8, as perdas de carga superam a diferença de cota em valor absoluto, pelo que os seus pontos mais desfavoráveis localizam-se nas extremidades. Acontece a situação oposta no blocos 2, em que o declive compensa por completo as perdas de carga e por conseguinte, o ponto mais desfavorável encontra-se nos primeiros metros após o cabeçal de rega.

Nos blocos 1 e 3, para os quais foram considerados dois pontos – a transição entre a conduta porta-ramais e a extremidade da respectiva conduta, o ponto mais desfavorável é aquele em que a diferença entre o valor absoluto das perdas de carga e da cota é superior. No bloco 1, o ponto mais desfavorável localiza-se nessa transição, enquanto no bloco 3 se localiza na extremidade.

No anexo 1.14 encontram-se marcados os referidos pontos considerados mais desfavoráveis em cada bloco de rega.

A pressão necessária nas válvulas foi calculada com recurso ao teorema de Bernoulli que toma a seguinte forma nesta situação, desprezando a componente da altura cinética:

$$P_{reg} = \Delta z + \frac{p}{\gamma} + 1,1 \cdot hl_{p-ra} + h_{cab+valv} \quad [1.2]$$

sendo:

P_{reg} (m) – pressão a regular a válvula;

Δz (m) – diferença de cota;

p/γ (m) – a pressão de funcionamento do emissor;

hl_{p-ra} (m) – a perda de carga na conduta porta-ramais;

$h_{cab+valv}$ (m) – a perda de carga no cabeçal do bloco e válvula.

O quadro seguinte resume este cálculo para cada um dos blocos do projecto.

Quadro 1.7: Cálculo da pressão de regulação das válvulas dos blocos.

Bloco	Δz (m)	p/γ (m)	hl_{p-ra} (m) + 10%	$h_{cab+valv}$ (m)	P_{reg} (m)
1	-3	15	4,98	1	17,98
2	0	17	0	1	18,00
3	-8	17	9,40	1	19,40
4	-3	17	3,94	1	18,94
5	-2	17	4,06	1	20,06
6	0	12	1,97	1	14,97
7	-3	12	4,62	1	14,62
8	0	20	2,25	1	23,25

Note-se que se considerou a perda de carga total do conjunto do cabeçal mas na realidade a pressão de regulação só deveria ter em consideração a perda de carga que ocorre a jusante da válvula. No entanto, essa diferença é praticamente irrelevante porque, em primeiro lugar, é uma diferença pouco expressiva e, em segundo lugar, durante a regulação as válvulas é fundamental confirmar no terreno o bom funcionamento do sistema.

1.5.5. Regra de Christiansen

Com vista a obter boas uniformidades de rega, segundo a regra de Christiansen, a variação de pressão à entrada do lateral mais favorável e mais desfavorável dentro do mesmo bloco não deverá exceder os 20% para que a variação de caudal não exceda os 10%. Esta variação ocorre devido ao efeito do declive e das perdas de carga ao longo da conduta porta-ramais

Para este efeito, calcularam-se as pressões à entrada dos laterais mais favoráveis e a respectiva variação dentro de cada bloco, tendo em conta a pressão mínima de funcionamento para cada um dos blocos. A pressão nos pontos mais favoráveis foi calculada deduzindo as perdas de carga e a diferença de cota dos respectivos pontos mais favoráveis à pressão necessária na respectiva válvula do bloco, com recurso à seguinte fórmula:

$$P_{emi} = P_{reg} - z - hl_{p-ra} - h_{cab+valv} \quad [1.3]$$

sendo:

P_{emi} (m) – pressão de funcionamento do emissor mais favorável;

No caso do bloco 1, dado que o ponto mais desfavorável se localiza numa situação intermédia do porta-ramais, calcularam-se as variações para ambas as extremidades. O ponto mais favorável corresponde à extremidade com uma variação de pressão mais elevada.

O quadro seguinte resume os cálculos para obter as variações de pressão (ΔP) em cada bloco.

Quadro 1.8: Cálculo da variação de pressão à entrada das linhas laterais.

Bloco	P_{\min} (m)	P_{reg} (m)	Δz (m)	$h_{\text{p-ra}}$ (m)	$h_{\text{cab+valv}}$ (m)	P_{emi} (m)	ΔP (%)
1	15	17,98	0	0	1	16,98	13,2
			-5	6,02	1	16,96	13,1
2	17	18,00	-6	3,79	1	19,21	13,0
3	17	19,40	0	0	1	18,40	8,2
4	17	18,94	0	0	1	17,94	5,5
5	17	20,06	0	0	1	19,06	12,1
6	12	14,97	0	0	1	13,97	16,4
7	12	14,62	0	0	1	13,62	13,5
8	20	23,25	0	0	1	22,25	11,3

Verifica-se que as variações de pressão à entrada dos laterais encontram-se dentro do limite máximo em todos os blocos. Existe alguma margem em todos eles, que permite absorver as imprecisões que existem na estimativa dos desníveis.

1.5.6. Condutas principais

Antes de realizar o dimensionamento das condutas principais, é relevante neste projecto conferir a diferença existente na pressão entre o cabeçal de rega principal e os cabeçais de rega de cada bloco, tendo em consideração o desnível. Este valor será a referência para a folga que o sistema ainda dispõe nos cálculos que se seguirão, sendo útil na escolha das condutas principais. O cálculo foi realizado deduzindo a pressão necessária nas válvulas e a diferença de cota entre as válvulas e o cabeçal principal, à pressão fornecida pela bombagem no cabeçal principal:

$$\text{Pressão restante} = 30 - P_{\text{reg}} - z \quad [1.4]$$

Admite-se que o cabeçal se encontra à cota 300, não obstante o facto de na realidade se situar a uma cota ligeiramente superior.

Quadro 1.9: Cálculo da pressão restante no sistema de rega.

Bloco	P_{reg} (m)	Δz (m)	Pressão restante (m)
1	17,98	7	5,02
2	18,00	14	-2,00
3	19,40	4	6,60
4	18,94	6	5,06
5	20,06	-2	11,94
6	14,97	0	15,03
7	14,62	-6	21,38
8	23,25	-4	10,75

Desde logo este cálculo deixa claro que o bloco 2 já não tem possuí pressão suficiente para a rega. O bloco 1, dada a sua distância e o facto de ainda não ter sido contabilizada a perda de carga na filtração, parece que também dificilmente poderá ser regado apenas com a pressão disponível.

Neste ponto importa novamente fazer uma análise nas opções tomadas anteriormente para aferir se é possível alterar esta situação. No bloco 2, com o desnível no ponto mais elevado a alcançar os 14 metros, era desde logo improvável o sistema funcionar apenas com a pressão da bombagem existente. Com 14 m à entrada dos laterais, mesmo admitindo que o desnível favorável alcançaria os 2% (o que não corresponde à verdade), seria possível ter laterais até 200 metros de comprimento mas ainda assim só haveria uma margem de 2 m para a filtração e condutas.

No bloco 1, o comprimento máximo dos laterais é exactamente de 178 metros. Admitindo que a partir desse ponto o comprimento das linhas é sucessivamente decrescente e que existe um desnível favorável entre 1 e 2%, é possível no máximo admitir que a pressão à entrada dos laterais pode descer aos 1,4 bar, aumentando dessa forma a margem para a filtração e condutas principais para 6,02 m. Ainda assim é um valor demasiado optimista.

Nos blocos 3 e 4, a pressão disponível tem uma margem muito reduzida, particularmente no bloco 4. O bloco 4 possui um declive superior a 2% ao início das linhas laterais, reduzindo sucessivamente para valores menores nas extremidades, sem baixar contudo dos 1,5%. A partir deste dado, e consultando de novo as tabelas que fornecem o comprimento máximo admissível para os laterais, é pertinente considerar que 1,6 bar são seguramente suficientes para a rega deste bloco, o que permite afirmar que o valor necessário na válvula poderá descer aos 17,94 m.

Os blocos 5 a 8 encontram-se bastante mais folgados, podendo-se economizar nas condutas principais, optando por diâmetros menores.

As condutas principais foram dimensionadas novamente segundo a folha de excel com a fórmula de Hazen-Williams, considerando um coeficiente de rugosidade C de 150. As velocidades nestas condutas de PVC não devem exceder em qualquer circunstância os 2 m.s⁻¹. Os caudais foram arredondados sempre por excesso.

O quadro seguinte resume os cálculos para o dimensionamento e perdas de carga contínuas nas condutas principais (hl_{pri}) e os respectivos somatórios das perdas de carga para os blocos em que existem vários troços (Σhl_{pri}). Dadas as considerações feitas anteriormente, não foram calculados os diâmetros nas condutas principais dos blocos 1 e 2.

Quadro 1.10: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nas condutas principais (excepto blocos 1 e 2).

Bloco	Troço	Q (m ³ .h ⁻¹)	Comp. (m)	DE (mm)	DI (mm)	v (m.s ⁻¹)	hl _{pri} (m)	Σhl _{pri} (m)
3	A-B	74	215	200	188,2	0,74	0,55	1,41
	B-C	37	225	140	131,8	0,75	0,86	
4	A-B	74	215	200	188,2	0,74	0,55	0,55
5	A-D	89	140	140	131,8	1,81	2,84	5,36
	D-E	26	140	90	84,6	1,29	2,52	
6	A-D	89	140	140	131,8	1,81	2,84	2,84
7	A-F	62	340	125	117,6	1,59	6,16	6,85
	F-G	8	140	75	84,6	0,57	0,69	
8	A-F	62	340	125	117,6	1,59	6,16	6,16

O raciocínio foi idêntico nos blocos 3 e 4. Para minorar as perdas de carga, optou-se pela conduta de maior diâmetro que permite uma velocidade acima de 0,5 m.s⁻¹. Abaixo deste limite, podem ocorrer problemas de sedimentação e a redução nas perdas de carga torna-se residual face ao incremento no custo das condutas.

Nos blocos 5 a 8, face à margem existente, optou-se por condutas que maximizam a perda de carga nos respectivos troços. Esse objectivo foi conseguido optando pela conduta de menor diâmetro em que a velocidade de escoamento é inferior a 2 m.s⁻¹. Exceptua-se o troço de conduta F-G, dado que em condutas principais de PVC raramente se aplicam diâmetros inferiores a 90 mm ou, no máximo, 75 mm.

O anexo 1.15 apresenta as condutas principais dimensionadas no desenho.

1.5.7. Cabeçal de rega principal

1.5.7.1. Filtração

A filtração proposta está intimamente ligada à origem e qualidade da água que é usada na rega. Neste projecto, a água tem uma origem superficial a partir de uma barragem,

que pelas suas características intrínsecas, nomeadamente a exposição à luz, se torna propício à formação de algas que são aspiradas pela bombagem.

Para a filtração destes materiais orgânicos, é sempre altamente recomendada a utilização de filtros de areia, que têm um custo muito elevado mas que são o equipamento de filtração mais eficaz. Os filtros de areia obrigam a água à passagem a baixa velocidade pelos grãos de areia de origem e granulometria específica, retendo dessa forma as partículas orgânicas.

Associados em série a cada um dos filtros de areia, utiliza-se um filtro de malha ou de anéis. Este filtro tem por função salvaguardar a passagem de qualquer partícula que possa ter atravessado as partículas de areia, e que poderia potencialmente entupir os emissores do sistema de rega.

A limpeza dos filtros de areia realiza-se através de retrolavagem recorrendo a válvulas hidráulicas de 3 vias, pelo que a instalação destes filtros acontece sempre em série ou, para caudais mais elevados, com associações em paralelo de várias séries de filtros. Os filtros de malha ou anéis são limpos manualmente dado que o nível de sujidade que retém é muito reduzido se a bateria de filtração estiver a funcionar em perfeitas condições.

O dimensionamento destas baterias de filtração não é uma ciência linear. O fornecedor tem ao dispor ábacos que permitem calcular a perda de carga induzida segundo o caudal considerando que se trata de água limpa. Quanto maior contaminação houver na água de rega, necessariamente existirá pelo menos uma de duas consequências: a perda de carga será maior à medida que os filtros ficam mais colmatados e/ou a retrolavagem será desencadeada em espaços de tempo sucessivamente menores, já que esta é desencadeada segundo um diferencial de pressão a jusante e a montante dos filtros. O diferencial de pressão desencadeia a retrolavagem dos filtros segundo um valor pré-determinado no programador.

Um maior número de retrolavagens é lesivo para o sistema de rega. A água consumida no processo é água desperdiçada, dado que é evacuada para fora do sistema. Simultaneamente, durante o processo de retrolavagem, pode-se verificar uma redução na pressão de funcionamento do sistema de rega.

O dimensionamento da bateria de filtração constitui assim um equilíbrio entre estes factores, o qual não possui uma forma objectiva de ser determinado. Dadas as circunstâncias do projecto e as limitações a ele associadas, a perda de carga máxima admissível na bateria de filtração terá que ser bastante limitada, isto é, a bateria de filtração terá que ser folgada o suficiente para que se evite uma perda de carga demasiado elevada e se evite a realização de um número excessivo de retrolavagens.

As baterias de filtração agrupam-se normalmente numa só série quando não excedem as 3 unidades, o que se traduz na situação mais económica por se traduzir em

menos condutas. A partir desse valor, é usual associar em paralelo duas séries de dois ou mais filtros.

O fornecedor possui as mais variadas opções de dimensões da entrada e saída dos filtros e dimensões do corpo dos filtros. De forma a obter-se alguma uniformização no material que é comercializado, a Magos apenas comercializa uma dimensão do corpo do filtro por cada um dos diâmetros de entrada e saída (corpo de 20" nos filtros de 2", corpo de 36" nos filtros de 3" e corpo de 48" nos filtros de 4").

Product head loss chart (bar) - 30" to 60" body

Model (Inlet/Body)	Flow Rate (m³/h)														
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	130	150	180	200	220
(inch)	Head loss (bar)														
3/30	0,06	0,14	0,26	0,40	0,58	0,79	1,03								
3/36		0,07	0,13	0,20	0,28	0,38	0,50	0,63	0,78	0,95					
4/48				0,06	0,08	0,11	0,15	0,19	0,23	0,28	0,39	0,53	0,76	0,93	1,13
4/60					0,05	0,06	0,08	0,10	0,13	0,15	0,21	0,28	0,41	0,50	0,61

Figura 1.6: Perdas de carga nos filtros de areia modelo F2000 da Rivulis.

Fonte: http://rivulis.com/wp-content/uploads/2014/12/RIV_DS_F2000_R2_EN_W14_0362.pdf, consultado a 03-06-2016.

Considerando os dados técnicos do fornecedor, é possível desenhar várias opções viáveis para a bateria de filtração que se resumem no quadro seguinte. Os caudais apresentados são sempre unitários para cada filtro da bateria – Q_{\min} , para o caudal mínimo recomendado pelo fornecedor, Q_{\max} , para o caudal máximo recomendado e Q_{real} , para o caudal a que o filtro funcionará na referida situação. Foi estimada a perda de carga singular nos referidos filtros (h_{fa}).

Quadro 1.11: Opções para a construção da bateria de filtros de areia.

Bateria	$Q_{\min} (m^3.s^{-1})$	$Q_{\max} (m^3.s^{-1})$	$Q_{\text{real}} (m^3.s^{-1})$	$H_{fa} (m)$
4 filtros de 3", associados em paralelo 2 a 2	32	62	56	2,6
6 filtros de 3", associados em paralelo 3 a 3	32	62	37,4	1,2
3 filtros de 4" em paralelo	62	120	74,7	1,3
4 filtros de 4", associados em paralelo 2 a 2	62	120	56	0,7

Verifica-se de imediato que a primeira opção, mesmo com água limpa, já induz uma perda de carga significativa, a que se teria ainda que adicionar a perda de carga do filtro de anéis.

A segunda e terceira opção induzem perdas de carga à partida semelhantes. A opção pelos filtros de 3" é significativamente mais cara.

A quarta opção permite ter uma folga adicional mas parece tratar-se de uma vantagem pequena para justificar um acréscimo no custo da bateria de, pelo menos 25%. Note-se que, apesar do caudal real estar abaixo do caudal mínimo recomendado, trata-se apenas de um valor de referência do fornecedor, não havendo qualquer problema técnico associado a tal facto.

Considerando que associado em série a cada filtro de areia operará um filtro de malha que à partida se encontrará limpo, segundo os dados do fornecedor poderia-se estimar facilmente a perda de carga para cada um desses filtros. No entanto, o fornecedor desde equipamento não possui nenhuma informação técnica relativa às perdas de carga, recomendando apenas para o referido modelo que o caudal não exceda os $80 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. No entanto, pela experiência adquirida na empresa, sabe-se que a perda de carga não excede 1 a 1,5 m à sua passagem.

1.5.7.2. Conduta de ligação do cabeçal

Além dos filtros propriamente ditos, o dimensionamento da bateria requer ainda o dimensionamento do cabeçal de rega principal. Os troços de ligação entre os componentes deste cabeçal são inteiramente em ferro galvanizado e normalmente construídos à medida de cada projecto. Esses equipamentos serão responsáveis por ligar à conduta existente no antigo cabeçal e posteriormente ligar às condutas principais.

Nestas secções, dado serem curtas e com muitas singularidades, não é usual calcularem-se as perdas de carga por si só. Ao invés disso, considera-se esse valor na perda de carga global da bateria. Interessa por isso olhar apenas para a velocidade de escoamento. Apresenta-se no quadro seguinte as opções mais viáveis.

Quadro 1.12: Dimensionamento da conduta de ligação do cabeçal de rega principal.

Q ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	DE (mm)	DI (mm)	v ($\text{m}.\text{s}^{-1}$)
224	200	187,4	2,26
	250	237,4	1,41

Nota: o diâmetro escolhido encontra-se assinalado a verde.

Conforme referido anteriormente, normalmente admite-se que nas condutas de ferro galvanizado a velocidade de escoamento alcance os $2,5 \text{ m}.\text{s}^{-1}$. O mesmo se aplica vulgarmente nos cabeçais de rega. No entanto, quando se trate de baterias de filtros de areia, uma norma prática exige que as velocidades não superem os $2 \text{ m}.\text{s}^{-1}$, já que acima desse valor se verifica que o último filtro colmata rapidamente, enquanto o primeiro filtro praticamente não cumpre a sua função. A conduta de ligação escolhida terá assim um diâmetro nominal de 250 mm.

Assim, e face às condicionantes existentes, é objectivo que a bateria de filtração tenha uma perda de carga no seu conjunto de 5 m. A retrolavagem dos filtros de areia será assim programada para ter início sempre que, a diferença de pressão a montante e a jusante exceda os 4-5 metros.

1.5.8. Pressão necessária no cabeçal de rega principal

Finalmente, importa calcular a pressão requerida respectivamente para a rega em cada um dos blocos. Nesta situação, os blocos de rega terão que apresentar uma pressão necessária inferior a 30 m para que a rega se efectue sem o auxílio de qualquer fonte adicional de energia.

Como é usual no dimensionamento de sistemas de rega, despreza-se a componente da velocidade neste cálculo.

Às perdas de carga já estimadas anteriormente acrescerão ainda 5% para perdas de carga singulares sobre a perda de carga das condutas principais. Note-se que os cálculos realizados até este ponto foram todos realizados com pequenas folgas, pelo que não se justifica considerar outra folga substancial.

A altura (HT) necessária no cabeçal de rega principal foi calculada adicionando, para cada bloco, a diferença de cota entre o cabeçal principal e o cabeçal do bloco, as perdas de carga nas condutas principais e as perdas de carga no cabeçal principal, segundo a fórmula:

$$HT = \Delta z + P_{reg} + 1,05 \cdot h_{pri} + h_{fa} \quad [1.5]$$

sendo:

HT (m) – altura manométrica requerida no cabeçal de rega principal;

H_{fa} (m) – perda de carga na bateria de filtração de areia;

No bloco 4, a pressão necessária à entrada das linhas laterais foi revista para um limite mínimo de 16 m, reduzindo assim a pressão necessária na válvula para 17,94 m.

A situação nos blocos 1 e 2 mantém-se por enquanto em *stand-by*.

Quadro 1.13: Cálculo da altura requerida no cabeçal de rega principal por bloco de rega (excepto blocos 1 e 2).

Bloco	Δz (m)	P_{reg} (m)	Perdas de carga			HT (m)
			H_{pri} (m)	5% H_{pri} (m)	H_{filt} (m)	
3	4	19,40	1,41	0,08	5	29,89
4	6	17,94	0,55	0,06	5	29,55
5	-2	20,06	5,36	0,54	5	28,96
6	0	14,97	2,84	0,29	5	23,10
7	-6	14,62	6,85	0,69	5	21,16
8	-4	23,25	6,16	0,62	5	31,03

Constata-se que os blocos 3 e 4 regarão praticamente no limite da pressão disponível mas admite-se que a rega nestas circunstâncias é viável.

Nos blocos 5, 6 e 7 existe pressão superior à pressão mínima necessária.

No bloco 8, verifica-se que a pressão seria, nestas circunstâncias, insuficiente. Isso acontece porque, apesar do desnível favorável, este possui linhas laterais bastante longas que exigem 20 m de pressão à entrada. No entanto, recorde-se que a estratégia adoptada para as condutas principais foi a de maximizar a perda de carga com as velocidades abaixo dos 2 m.s^{-1} , pelo que existe margem para reduzir significativamente esse valor.

Rectificou-se o troço A-F para uma condução do diâmetro imediatamente superior, 140 mm, com a respectiva correcção a figurar no anexo 1.16. Os resultados foram os seguintes.

Quadro 1.14: Redimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nas condutas principais no troços que abastecem os blocos de rega 7 e 8.

Bloco	Troço	Q ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	Comp. (m)	DE (mm)	DI (mm)	v (m.s^{-1})	hl (m)	Σhl (m)
7	A-F	62	340	140	117,6	1,26	3,53	4,22
	F-G	8	140	75	84,6	0,57	0,69	
8	A-F	62	340	140	117,6	1,26	3,53	3,53

Os resultados finais foram assim rectificados nos blocos 7 e 8.

Quadro 1.15: Novo cálculo da altura necessária no cabeçal de rega principal por bloco de rega para os blocos 7 e 8.

Bloco	Δz (m)	P_{reg} (m)	Perdas de carga			HT (m)
			H_{pri} (m)	5% H_{pri} (m)	H_{filt} (m)	
7	-6	14,62	4,22	0,22	5	18,06
8	-4	23,25	3,53	0,18	5	27,96

Com esta alteração, o bloco 8 já dispõe de uma pressão suficiente para a rega.

1.5.9. Blocos 1 e 2

Agora importa voltar à situação verificada nos blocos 1 e 2, onde a pressão existente no sistema se revelou insuficiente para a rega.

A falta de pressão para se realizar a rega é um problema frequente nos sistemas de rega cuja água é fornecida ao agricultor através de hidrantes. Muitas vezes, os hidrantes não dispõem de pressão suficiente, sendo necessário fornecer mais energia à água para que esta alcance os pontos mais desfavoráveis. Essa tarefa cabe a bombas normalmente do tipo centrífugo e horizontal, vulgarmente designadas nesta função por bombas “sobrepessoras”, que aspiram água sob pressão e adicionam energia, aumentando a pressão a jusante.

Para esta bombagem é necessário, antes de mais, realizar um cálculo da altura manométrica necessária. A maior parte desses cálculos encontram-se já realizados, faltando apenas considerar a perda de carga nas condutas principais. No entanto é pertinente realizar a soma das componentes já calculadas para se ter uma ordem de grandeza da pressão que será necessária nesses blocos.

Quadro 1.16: Cálculo da pressão necessária no cabeçal principal para os componentes hidráulicos já dimensionados.

Bloco	Δz (m)	P_{reg} (m)	Perdas de carga			HT (m)
			H_{pri} (m)	5% H_{pri} (m)	H_{filt} (m)	
1	7	17,98	?	?	5	29,98
2	14	18,00	?	?	5	37,00

No bloco 1, o sistema só necessita teoricamente da pressão que será perdida nas condutas principais. O bloco 2, mesmo sem considerar as condutas principais, exige já 7 m adicionais. Este cálculo ainda sem ter em consideração as condutas principais justifica-se por um motivo: dado que o sistema necessitará de pressões adicionais muito reduzidas e as bombas horizontais centrífugas que existem no mercado só realizam pressões superiores a 10-15 m, o dimensionamento das condutas principais pode ser realizado tendo um valor objectivo máximo para as perdas de carga, até porque existe uma potencial limitação na potência disponível no cabeçal de rega.

Atendendo à distância, é pertinente considerar que as perdas de carga nas condutas principais poderão ser inferiores a 5 m para o bloco mais distante, ou seja, o bloco 1, pelo que será necessária uma bomba apta a elevar $54 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ com uma altura entre 10 e 15 m.

TIPO / TYPE TYPE / TIPO		Potenza Motore Motor Power Puisance Moteur Potencia Motor		PORTATA / CAPACITY..... l/s DEBIT / CAUDAL m³/h l/min																						
Con tenuta a premitreccia Stuffing-box version Avec étanchéité par presse-étoupe Con prensa- estopa	Con tenuta meccanica Mechanical seal version Avec étanchéité mécanique Con cierre mecánico			CV CH HP CV	kW	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	11	12	13	14	15	16	17
				12,6	14,4	16,2	18	19,8	21,6	23,4	25,2	27	28,8	30,6	32,4	34,2	36	39,6	43,2	46,8	50	54	58	61	65	
				210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	660	720	780	840	900	960	1020	1080	
MD 50/4	MDT 50/4	4	3				23	23	22,5	22,5	22	22	22	21,5	21	20,5	20	18,5	17,5	16	14,5	13	11,5	9,5		
MD 50/5	MDT 50/5	5,5	4		29	29	29	29	29	28,5	28,5	28,5	28	27,5	27,5	27	26,5	25,5	24,5	23	21,5	20	18,5	16,5	14,5	
MD 50/7	MDT 50/7	7,5	5,5						35,5	35,5	35,5	35	35	35	34,5	34,5	34	33,5	33	32	30,5	29,5	28	26	25	
MD 50/10	MDT 50/10	10	7,5						45	45	44,5	44	43,5	43	42,5	41,5	41	39,5	37,5	35,5	33	30,5	28,5	25,5	23	
MD 50/12	MDT 50/12	12,5	9,2						58	58	57	57	56	56	55	55	54	53	52	50	48,5	46	44	42		
MD 50/12A	MDT 50/12A	12,5	9,2		64	64	63	63	63	62	62	61	61	60	59	58	57	55	53							
MD 50/15	MDT 50/15	15	11		68	68	68	68	68	67	67	66	65	64	64	63	62	60	57	54	50	46				
MD 50/15A	MDT 50/15A	15	11		74	74	73	73	73	72	72	71	71	70	69	68	67	66								
MD 50/20	MDT 50/20	20	15		80	80	80	79	79	79	78	78	77	77	76	76	75	73	71	69	66	62	58	54		
MD 50/20A	MDT 50/20A	20	15		85	85	85	85	85	85	84	84	83	83	82	81	81	79	78							

Figura 1.7: Pontos de funcionamento da família de electrobombas centrífugas monobloco *MDT* da *Caprari*.

Adaptado de http://www.caprari.com/cms-web/upl/doc/PDF_prodotto/MD_it_fr_en_es.pdf, consultado a 03-06-2016.

Consultando a tabela do fornecedor de bombas centrífugas monobloco, verifica-se que a bomba *MDT 50/4* eleva $54 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a 13 m, enquanto o modelo seguinte, *MDT 50/5* eleva o mesmo caudal a 20 m de altura. A primeira possui 3 kW de potência ao motor, enquanto a segunda possui 4 kW, ambas dentro do limite de potência que deverá estar disponível no local (5,5 kW).

O primeiro modelo deixa uma folga de 6 m para os cálculos das perdas de carga que falta efectuar. No entanto, na prática, verifica-se sempre que na aspiração de uma bomba “sobrepessora” existe alguma perda de carga que não é possível quantificar mas que, por experiência, se sabe que situa abaixo dos 5 m. Desta forma é necessário optar pelo segundo modelo, que confere uma folga expressiva no dimensionamento das condutas principais.

O objectivo será assim minimizar os diâmetros das condutas principais, reduzindo o seu custo de aquisição e aproveitando a potência disponível pela bomba.

Note-se que nestas circunstâncias, a condução da água para os blocos 1 e 2 será agora numa conduta independente dos blocos 3 e 4, logo após a bateria de filtração, que é onde será instalada a bomba.

Quadro 1.17: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nas condutas principais para os blocos 1 e 2.

Bloco	Troço	Q ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Comp. (m)	DE (mm)	DI (mm)	v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	hl _{pri} (m)	Σhl _{pri} (m)
1	A-H	54	415	125	117,6	1,38	5,82	10,66
	H-I	18	220	75	75	70,6	4,84	
2	A-H	54	415	125	117,6	1,38	5,82	5,82

A planta final de condutas principais encontra-se no anexo 1.17.

Foi realizado novamente o cálculo da pressão necessária à entrada do cabeçal, conforme consta do quadro seguinte.

Quadro 1.18: Cálculo da pressão necessária no cabeçal principal para os blocos 1 e 2.

Bloco	Δz (m)	P_{reg} (m)	Perdas de carga			HT (m)
			h_{pri} (m)	5% h_{pri} (m)	H_{filt} (m)	
1	7	17,98	10,66	0,54	5	41,18
2	14	18,00	5,82	0,30	5	43,12

Desta forma a bomba escolhida é suficiente para fazer face aos requisitos de pressão necessários em ambos os blocos e ainda existe uma folga de praticamente 7 m, valor suficiente para as perdas de carga que acontecem na aspiração da bomba.

1.6. Crítica ao projecto

A metodologia de cálculo das necessidades hídricas na empresa tem por base valores tabelados segundo a evapotranspiração cultural no mês crítico em condições próximas às que se verificam na região de Portugal onde a cultura tem maior expressão e segundo a experiência prática que existe para a referida cultura. Este facto leva a que esse valor nem sempre esteja perfeitamente adequado em específico à região e/ou às condições e práticas culturais em que a cultura irá ser realizada.

A evapotranspiração da amêndoa, à semelhança de qualquer outra cultura, é a soma de uma componente de evaporação directa do solo e de uma componente de transpiração da cultura e, por vezes, da transpiração da cobertura vegetal do solo. Além dos factores atmosféricos, a evaporação depende da área humedecida à superfície do solo, que por sua vez depende da quantidade e distribuição dos emissores e do tipo de solo. A transpiração, além dos factores atmosféricos, depende do volume de copa exposto à radiação e da capacidade que a planta tem em repor a água que perde.

Segundo a metodologia da empresa, as necessidades hídricas de ponta são estimadas independentemente da quantidade e distribuição dos emissores e independentemente do volume de copa das plantas o que, podendo estar adaptado a algumas situações, não corresponde ao que é recomendado pela bibliografia.

A bibliografia recomenda para os sistemas de rega localizada, a aplicação de um factor de redução k no cálculo das necessidades hídricas, que é função da fracção de terreno efectivamente coberta pelas plantas em projecção vertical (Raposo, 1994). Independentemente das múltiplas metodologias que existem para calcular o factor de localização, não é aconselhável que este tome valores inferiores a 0,5.

Neste projecto, a cultura da amêndoa dispõe apenas de uma linha de emissores por linha de plantação, o que, além de representar uma pequena área humedecida, limita o desenvolvimento radicular das plantas e por conseguinte limita a capacidade destas

reporem toda a água que transpirariam em condições de conforto hídrico. De facto, conforme foi referido anteriormente no ponto 1.1.6, a limitação imposta pelo cliente em termos de emissores não cumpre aquilo que é recomendado pela bibliografia, quer por humedecer uma percentagem demasiado reduzida do solo – apenas 24% –, quer por apresentar um espaçamento entre emissores excessivamente pequeno.

A aplicação de uma elevada dotação de rega numa área tão reduzida do solo pode conduzir a problemas de asfixia radicular e lixiviação de adubos.

Considerando estes factos, optou-se por refazer todos os cálculos referentes às necessidades hídricas da cultura da amêndoa, tendo como ponto de partida dados meteorológicos da estação de Portalegre para cálculo da evapotranspiração de referência.

Note-se que a metodologia na romã foi a mesma, mas nessa cultura o cálculo é admissível pelo facto do projecto apresentar duas linhas de rega por linha de árvores, como também foi referido no ponto 1.1.6, o que aumenta a distribuição da água pelo sistema radicular, permitindo que as plantas reponham, em condições de maior conforto hídrico, a água que transpiram.

1.6.1. Evapotranspiração de referência

O cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) foi realizado com recurso a uma série de 30 anos (1959 a 1988) da estação meteorológica de Portalegre, localizada a cerca de 25 km da propriedade em Monforte (ISA, 2016)

A evapotranspiração de referência foi calculada segundo a metodologia de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), conforme recomendado pela FAO – Food and Agriculture Organization. O cálculo deu origem aos seguintes valores da ET_o para o mês de Julho:

Quadro 1.19: Valores da evapotranspiração de referência calculados para os anos de 1959 a 1988.

Ano	ET_o (mm)	Ano	ET_o (mm)	Ano	ET_o (mm)
1959	6,2	1969	7,0	1979	5,8
1960	6,6	1970	6,0	1980	6,2
1961	6,2	1971	4,9	1981	7,3
1962	5,9	1972	5,0	1982	5,1
1963	6,1	1973	5,3	1983	4,3
1964	5,6	1974	7,9	1984	6,3
1965	5,4	1975	6,3	1985	5,8
1966	6,1	1976	5,9	1986	7,2
1967	5,8	1977	5,4	1987	6,0
1968	6,5	1978	6,2	1988	5,5

O dimensionamento de sistemas de rega tem em consideração que o sistema é suficiente para cobrir as necessidades hídricas em 80% dos anos. Verifica-se que isso acontece com um valor de 6,3 mm.

1.6.2. Evapotranspiração cultural

A evapotranspiração cultural (ET_c) tem em conta a influência de diversos factores específicos da planta e das práticas culturais no contributo para a evapotranspiração relativamente à cultura de referência, através da multiplicação da ET_o por um factor designado coeficiente cultural k_c , segundo a fórmula:

$$ET_c = ET_o * k_c \quad [2.1]$$

A amêndoa é uma cultura que se adapta ao clima mediterrânico sem a necessidade de rega. Contudo, a rega tornou-se praticamente obrigatória como forma de rentabilizar a cultura, permitindo obter produções superiores em quantidade e qualidade e regularizando as produções ao longo dos anos. Esta intensificação cultural tornou a amêndoa numa cultura extremamente exigente em termos hídricos.

Na Califórnia, o CIMIS (2016) – California Irrigation Management Irrigation System – organismo governamental responsável pela gestão da rega da região, recomenda coeficientes culturais que alcançam 1,15 na fase intermédia da cultura, um valor quase tão elevado como o coeficiente cultural recomendado pela FAO (Allen *et al.*, 1998) para uma cultura tão exigente como o milho – 1,20.

Em Espanha, os coeficientes culturais apresentados na bibliografia assumem em geral valores mais baixos. García-Tejero *et al.* (2015) mediram coeficientes culturais que ronda o valor de 1 para o mês de Julho, enquanto Girona (2006) apresenta valores de 0,94 e 0,97 respectivamente para a primeira e segunda quinzena do mês de Julho.

O trabalho de Allen & Pereira (2009) é o mais específico neste campo, visto que tem em consideração diversos níveis de ensombramento e ainda o contributo da cobertura vegetal na construção dos coeficientes culturais, conforme apresentado no quadro seguinte.

Table 3 Values for $K_{c\text{ ini}}$, $K_{c\text{ mid}}$, $K_{c\text{ end}}$, $K_{cb\text{ ini}}$, $K_{cb\text{ mid}}$, and $K_{cb\text{ end}}$ for a standard climate of $RH_{\min} = 45\%$ and $u_2 = 2\text{ m s}^{-1}$ as expanded from FAO-56 for a range of values for f_c during midseason and using parameter values in Table 2 in Eqs. 5a–10

Crop	$K_{c\text{ ini}}^a$	$K_{c\text{ mid}}$	$K_{c\text{ end}}$	$K_{cb\text{ ini}}$	$K_{cb\text{ mid}}$	$K_{cb\text{ end}}$
Fruit trees						
Almonds						
No ground cover						
High density ($f_{c\text{ eff}} = 0.7$)	0.40	1.00	0.70 ^b	0.20	0.95	0.65 ^b
Med. density ($f_{c\text{ eff}} = 0.5$) ^c	0.40	0.85	0.60 ^b	0.20	0.80	0.55 ^b
Low dens./young ($f_{c\text{ eff}} = 0.25$)	0.35	0.50	0.40 ^b	0.15	0.45	0.35 ^b
Active ground cover						
High density ($f_{c\text{ eff}} = 0.7$) ^j	0.85	1.05	0.85 ^b	0.75	1.00	0.80 ^b
Med. density ($f_{c\text{ eff}} = 0.5$)	0.85	1.00	0.85 ^b	0.75	0.95	0.80 ^b
Low dens./young ($f_{c\text{ eff}} = 0.25$)	0.85	0.95	0.85 ^b	0.75	0.90	0.80 ^b

Figura 1.8: Valores dos coeficientes culturais simples e duais para a cultura da amêndoa.

Fonte: Allen & Pereira (2009).

Os diversos coeficientes culturais apresentados neste estudo já têm em linha de conta a influência do ensombramento na evapotranspiração, eliminando a necessidade de utilizar um factor de localização no cálculo das necessidades hídricas de ponta.

No entanto, tendo em consideração que o factor crítico neste projecto é a pequena área de solo que é humedecida pelo sistema, limitando a capacidade de absorção de água por parte das plantas, optou-se por realizar o cálculo considerando o coeficiente cultural máximo e posteriormente aplicando um factor de localização.

A prática do enrelvamento na entrelinha é hoje bastante comum nas culturas permanentes. Contudo, esse coberto vegetal é normalmente eliminado através da aplicação de herbicida na zona da linha das plantas. Na entrelinha, apesar de não haver mobilização do solo, o coberto vegetal seca e portanto não compete pela água na época estival. Será assim considerado o coeficiente cultural máximo para a cultura da amêndoa, sem cobertura do solo em crescimento activo para a “meia-estação”, que engloba o mês de Julho.

A evapotranspiração cultural é assim calculada:

$$ET_c = 6,3\text{ mm} * 1,00 = 6,3\text{ mm}$$

1.6.3. Necessidades hídricas de ponta

1.6.3.1. Coeficiente de localização

Entre as diversas metodologias para cálculo do coeficiente de localização k , optou-se pela metodologia de Karmeli e Keller (1975), segundo a qual:

$$k = \frac{C}{0,85} \quad [2.2]$$

sendo:

C – fracção de terreno coberta pela cultura em projecção vertical.

No valor *C* considera-se que as plantas se expandem 1 metro para cada lado da linha, ou seja, em projecção vertical a cultura ocupa faixas de 2 metros intercaladas por 3 m na entrelinha não sombreadas pela cultura, o que corresponde a 40% de área sombreada. Este valor não estará afastado da largura da faixa humedecida criada pelo sistema de rega em profundidade, atendendo a que o bolbo humedecido se expande mais em profundidade do que à superfície.

O coeficiente de localização é assim:

$$k = \frac{0,40}{0,85} = 0,47$$

Contudo, Raposo (1994) considera que este valor de *k* não deve tomar valores inferiores a 0,5, pelo que será considerado esse valor no cálculo das necessidades hídricas.

1.6.3.2. Necessidades hídricas de ponta da cultura

É assim possível realizar um novo dimensionamento agronómico do sistema de rega, iniciando-se o cálculo pelas necessidades de rega corrigidas

$$ET_c = 6,3 * 0,50 = 3,15 \text{ mm}$$

1.6.3.3. Necessidades hídricas de ponta do sistema

Considerando uma eficiência de rega de 90%, as necessidades de rega para o sistema gota-a-gota serão:

$$\frac{3,15 \text{ mm}}{0,9} = 3,5 \text{ mm}$$

1.6.4. Dimensionamento agronómico

A partir das novas necessidades de rega realiza-se todo o dimensionamento agronómico, considerando os mesmos dados de *input* utilizados anteriormente:

a) *Caudal por planta:*

$$3,5 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1} * 5 \text{ m} * 1,5 \text{ m} = 26,25 \text{ l} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$$

b) *Tempo de rega por sector:*

$$\frac{26,25 \text{ l} \cdot \text{planta}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}}{3 \text{ emissores} \cdot \text{planta}^{-1} * 2,2 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}} = 3,98 \text{ h} \leftrightarrow 3 \text{ h } 59 \text{ min (considere - se 4 horas)}$$

c) *Número de sectores:*

$$\frac{14 \text{ h}}{3,98 \text{ h}} = 3,51 \rightarrow 3 \text{ sectores}$$

d) *Área média de cada sector:*

$$\frac{18,2 \text{ ha}}{3 \text{ sectores}} = 6,07 \text{ ha}$$

e) *Caudal médio por sector:*

$$\frac{6,07 \text{ ha} * 10000 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}}{5 \text{ m} * 0,5 \text{ m}} * 2,2 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1} = 53,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Na prática esta situação não é possível, visto que o sistema utilizará a bombagem já existente na barragem, preparada para $220 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a uma altura de 30 m, não sendo plausível que a mesma bomba seja capaz de trabalhar a menos de um quarto desse caudal, como aconteceria nesta situação. O projecto está assim limitado a apenas um sector para a cultura da amêndoa.

Na situação anterior, a cultura da romã regava em simultâneo com a cultura da amêndoa, havendo agora que rever essa situação. A romã necessita de um tempo de rega por sector de 6 horas e 50 minutos contra apenas 4 horas da cultura da amêndoa. Este facto possibilita duas formas de gestão do sistema:

- a rega da amêndoa realizar-se de forma completamente independente da cultura da romã. Nesta situação, a cultura da romã teria obrigatoriamente que formar um único sector igualmente pelo caudal – os dois sectores projectados anteriormente apenas possuíam $58,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ de caudal médio, insuficiente para o aproveitamento da

bombagem existente. O tempo de rega total seria assim de 10 horas e 50 minutos: 6 horas e 50 minutos dedicados a um sector único para a romã e 4 horas dedicados ao sector da amêndoa.

- adoptando uma gestão à imagem do que acontecia anteriormente, como forma de aproveitar ao máximo a capacidade da bombagem existente. Neste caso, o sistema regaria durante as primeiras 2 horas o sector único da amêndoa e um dos dois sectores da romã, continuando nas 2 horas seguintes com o sector da amêndoa mas mudando para o segundo sector da romã e posteriormente terminando a rega da romã com os dois sectores a regar em simultâneo durante mais 4 horas e 50 minutos.

Nesta circunstância, caberia sempre ao cliente decidir a modalidade pretendida. Na segunda opção o projecto não sofreria qualquer alteração. Na primeira opção, devido à alteração dos caudais, seria necessário reavaliar os seguintes itens do projecto;

- Troço A-D das condutas principais;
- Troço A-F das condutas principais;
- Bateria de filtração,
- Condução de ligação do cabeçal de rega principal.

2. Projecto de rega por aspersão

O projecto de rega por aspersão foi realizado para um potencial cliente com uma propriedade em Santo André, concelho de Santiago do Cacém. O projecto contempla a instalação de um sistema de rega integralmente novo para culturas hortícolas, com ramais, porta-aspersores e aspersores montados à superfície, que permitam a sua desmontagem.

O abastecimento de água é assegurado por um furo já existente na propriedade. Além das condicionantes intrínsecas do furo, o compasso na entrelinha dos aspersores está limitado a 7,5 m ou um respectivo múltiplo devido a ser essa a largura de trabalho da máquina de colheita da cultura.

O compasso escolhido, 15 x 12 m, assegurou uma sobreposição superior a 60% na linha, conforme recomendado pela bibliografia. Na entrelinha, a sobreposição foi apenas de 40%, no entanto compensada por uma disposição em triângulo. A opção tem a vantagem de economizar significativamente em ramais e aspersores.

A metodologia de dimensionamento e cálculo das instalações seguiu a metodologia adoptada na empresa. O dimensionamento das condutas recorreu novamente à fórmula de Hazen-Williams tendo como premissa velocidades máximas de escoamento entre 2 e 2,5 m.s⁻¹. O dimensionamento de acessórios específicos recorreu aos dados técnicos dos fornecedores. Verificou-se o cumprimento da regra de Christiansen relativamente à variação de pressão entre aspersores dos sectores de rega.

As pressões nos pontos críticos do sistema foram calculadas segundo o teorema de Bernoulli.

2.1. Dados para o projecto

2.1.1. Local de implantação

A propriedade localiza-se em Santo André e possui uma área de 6,47 ha, onde o cliente pretende instalar um sistema de rega por aspersão integralmente novo. Os solos desta zona são de textura ligeira.

Não existe um levantamento topográfico da propriedade, pelo que o projecto terá de ser realizado com recurso a imagens de satélite do programa *Google Earth* ou de qualquer outro programa que cumpra o mesmo propósito. À escala em que habitualmente se trabalha em projectos de rega, as imagens não apresentam o rigor que seria desejável.

Os projectos realizados desta forma destinam-se frequentemente a dar apenas uma ideia do custo do sistema. Caso o cliente aceite o projecto, é de todo recomendado que realize posteriormente um levantamento topográfico que permita otimizar ao máximo o sistema.

2.1.2. Cultura

O cliente pretende realizar diversas culturas hortícolas na parcela, sendo que a cultura principal será o brócolo.

2.1.3. Abastecimento de água

O abastecimento de água será feito a partir de um furo existente na propriedade. O furo tem 70 metros de profundidade total e o nível hidrodinâmico situa-se a 25 metros. O débito máximo é de $35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. O seu diâmetro nominal é de 200 mm. Este diâmetro pode ser uma condicionante na escolha do grupo de bombagem.

2.1.4. Fonte de energia

Existe energia eléctrica instalada até uma casa de rega localizada junto ao furo, onde anteriormente se encontrava instalado um quadro eléctrico com uma potência de 7,5 kW (10 cv). Se essa potência no futuro não for suficiente, o cliente terá de requerer um reforço de potência na infraestrutura.

2.1.5. Equipamentos de fertirrega

O cliente não pretende qualquer equipamento para fertirrega.

2.1.6. Condicionantes impostas

O cliente requer que cada ramal de aspersores possua uma válvula de seccionamento manual para que possa adaptar os sectores à área que efectivamente se encontra cultivada, sempre que a cultura não ocupe toda a parcela.

Dado que o equipamento de colheita para o brócolo possui uma largura de trabalho de 7,5 m, o cliente pretende que o compasso na entrelinha seja obrigatoriamente múltiplo desse valor, permitindo o máximo rendimento na operação.

2.1.7. Expectativas do cliente

Para a rega desta propriedade, o cliente tem idealizado um sistema com 6 a 8 sectores de rega.

Pretende também um sistema de rega constituído por ramais e aspersores montados sobre a superfície do solo, que possibilitem a sua desmontagem e deslocação para outra propriedade.

2.2. Dimensionamento do sistema

2.2.1. Dados de *input*

2.2.1.1. Necessidades hídricas de ponta do sistema

Dado que em termos de culturas hortícolas raramente os sistemas são utilizados para uma única cultura, o dimensionamento de sistemas de rega para culturas hortícolas regadas por aspersão, em geral tem por base necessidades hídricas de 8 mm, considerando uma eficiência de rega de 81%, que corresponde a uma dotação útil diária máxima de 6,5 mm em período de ponta.

2.2.1.2. Horas disponíveis para rega

Não existe qualquer limitação, pelo que se consideram à partida 20 horas, garantindo uma folga de 4 horas para manutenção. Só se opta por períodos superiores sempre que haja estrita necessidade, por qualquer condicionante existente. No entanto, este valor pode ser reduzido caso, na prática, seja favorável dimensionar um sistema com um número inferior de sectores.

2.2.1.3. Características dos aspersores

Em culturas hortícolas utilizam-se normalmente aspersores de impacto de baixo caudal, com gotas de pequena dimensão que não prejudicam a cultura instalada. Assim, de acordo com o equipamento disponibilizado pelo fornecedor da Magos Irrigation Systems, optou-se por aspersores da marca VYRSA, VYR-26. Estes aspersores com estrutura e boquilhas em plástico possuem 2 boquilhas direccionadas a 26 e a 18°. A pressão de funcionamento é de 1,5 a 3,5 bar.



Figura 2.1: Modelo de aspersor VYR-26.

Fonte: <http://www.vyrsa.com/en/catalogo/productos/vyr-26/>, consultado a 09-08-2016.

O jacto destes aspersores alcança em média entre 10 a 12 metros, pelo que se adaptam a compassos reduzidos. Em condições ideais o compasso escolhido não deveria superar os 12 metros, uma vez que o jacto de cada aspersor deve alcançar o aspersor seguinte com o objectivo de obter boas uniformidades de rega. No entanto, na prática isso nem sempre acontece, devendo-se garantir uma sobreposição mínima de 60% em quaisquer circunstâncias, e tomando valores superiores de acordo com a velocidade média do vento do local.

O compasso na entrelinha, conforme referido, está condicionado ao equipamento de colheita com largura de 7,5 m. Apenas é viável considerar duas hipóteses: 7,5 m ou 15 m, sendo que no primeiro caso o investimento em ramais, porta-aspersores e aspersores seria automaticamente o dobro e portanto, será uma opção a evitar.





Na linha, uma vez que se trata de um sistema com ramais constituídos por tubo comercializado em varas de 6 m, o compasso está novamente condicionado a um múltiplo desse valor. A única escolha mais pertinente é de 12 m, visto que este valor garantirá que o jacto de um aspersor alcançará ou pelo menos ficará próximo do aspersor seguinte.

A disposição adoptada é em triângulo, permitindo ganhos marginais na uniformidade e na eficiência de rega, sobretudo em condições de vento como acontece tipicamente no litoral do país, região onde se situa esta propriedade.

Dado que o cliente não impõe condicionantes na escolha dos aspersores, o caudal dos aspersores pode ser utilizado para ajustar o número de sectores a um número ideal do ponto de vista prático, desde que o caudal e pressão de funcionamento escolhidos garantam uma uniformidade de rega satisfatória para o compasso escolhido. Esta opção é preferível relativamente à redução do número de horas de rega, pois não implica um possível aumento da potência necessária na bombagem.

O uso de uma folha de cálculo em *Excel* obviamente facilita este dimensionamento, já que alterando o caudal dos aspersores automaticamente se obtêm os novos resultados para o sistema.

Após serem ensaiados aspersores com caudais distintos, conclui-se que a opção mais favorável é recorrendo a aspersores com um caudal de $0,615 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ com uma pressão mínima de funcionamento de 3 bar, instalados em compasso de 15 x 12 m. Alguns dados técnicos deste aspersor encontram-se na figura seguinte.

COLOR BOQUILLA	P (Bar)	Q (l/h)	D (m)	Espaciamiento (m) / Precipitación (mm/h)							
				10x10 rect.	10x10 triang.	10x12 triang.	12x12 rect	12x12 triang.	12x14 rect	14x14 rect	14x14 triang.
2,3 X 1,8 mm  	2,5	500	11	5	5	4,2	3,4	3,4			
	3	550	11	5,5	5,5	4,5	3,7	3,7			
	3,5	580	11	5,8	5,8	4,8	4	4			
2,5 X 1,8 mm  	2,5	570	10,5	5,7	5,7	4,7	3,9	3,9	3,1		
	3	615	10,5	6,1	6,1	5,1	4,2	4,2	3,4		
	3,5	660	11	6,6	6,6	5,4	4,5	4,5	3,6		

CU 85-88 %	CU 88-92%	CU>92%
------------	-----------	--------

Figura 2.2: Intensidades de aplicação e CU do aspersor VYR-26 em função da pressão e do compasso.

Fonte: <http://www.vyrsa.com/media/1320/vyr-26.pdf>, consultado a 03-06-2016.

De acordo com esta figura, o alcance do jacto nestas condições será de 10,5 m, o que garante uma sobreposição de 75% entre aspersores na linha e uma sobreposição de 40% entre linhas de aspersores. A sobreposição entre linhas não alcança os 60% que seriam desejáveis, mas é compensada favoravelmente pela disposição em triângulo, devendo garantir uma uniformidade de rega satisfatória.

O fornecedor dos aspersores é de Espanha, havendo algumas diferenças entre os compassos apresentados no seu catálogo técnico relativamente aos compassos que são praticados habitualmente em Portugal. De acordo com a figura que relaciona o compasso com a pressão de funcionamento e a partir da qual se obtém a intensidade de aplicação e o coeficiente de uniformidade (CU), nas condições mais aproximadas possível às do projecto (compasso rectangular de 12 x 14 m), o coeficiente de uniformidade situa-se entre os 85 e 88%.

2.2.2. Dados de output

a) *Número total teórico de aspersores:*

$$\frac{65000 \text{ m}^2}{15 \text{ m} * 12 \text{ m}} = 362 \text{ aspersores}$$

b) *Intensidade de aplicação:*

$$i = \frac{615 \text{ l. h}^{-1}}{15 \text{ m} * 12 \text{ m}} = 3,42 \text{ mm. h}^{-1}$$

A taxa de aplicação é baixa quando comparada com os valores máximos das taxas de infiltração de referência para os solos de textura grosseira que se encontram na região, não oferecendo qualquer risco de escoamento superficial.

c) *Tempo de rega por sector:*

$$\frac{8 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}}{3,42 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}} = 2,34 \text{ h} \leftrightarrow 2 \text{ h } 21 \text{ min}$$

d) *Número de sectores:*

O caudal dos aspersores foi ajustado para que o número de sectores obtido se adequasse à parcela em estudo, já que a forma como é feita a divisão em sectores influencia fortemente o interesse que o cliente demonstrará no futuro pelo projecto no geral. É por este motivo que é importante o projectista manter uma visão integrada entre as opções técnicas que toma durante o dimensionamento e a forma como posteriormente as implementará no terreno.

$$\frac{20 \text{ h}}{2,34 \text{ h}} = 8,55 \rightarrow 8 \text{ sectores}$$

Os 8 sectores são um número favorável face às características da propriedade, como se poderá facilmente verificar pela proporção entre as áreas da parcela a Norte do caminho e a parcela a Sul do caminho – a área da parcela Norte corresponde a 25% da área total. Simultaneamente este número vai de encontro às pretensões do cliente para o sistema.

e) *Número médio de aspersores por sector:*

$$\frac{362 \text{ aspersores}}{8 \text{ sectores}} = 45,25 \text{ aspersores}$$

f) *Área média de cada sector:*

$$\frac{6,5 \text{ ha}}{8 \text{ sectores}} = 0,81 \text{ ha}$$

g) *Tempo total efectivo de rega:*

$$8 \text{ sectores} * 2,34 \text{ h} = 18,72 \text{ h} \rightarrow 18 \text{ h } 44 \text{ min}$$

h) *Caudal médio por sector:*

O caudal médio por sector está limitado ao débito máximo estimado para o furo, que é de $35 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

$$34,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} * 0,81 \text{ ha} = 27,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

i) *Necessidades diárias da área total:*

$$27,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} * 18,72 \text{ h} = 519 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$$

2.3. Desenho do sistema

Nos projectos realizados sobre imagens de satélite, a primeira tarefa a executar é precisamente recolher essa imagem. Normalmente, o cliente fornece as coordenadas do local ou fornece um documento que seja útil na sua localização. A imagem é recolhida sempre com orientação a Norte e perfeitamente na vertical, isto é, formando um ângulo de 90° com a superfície da terra.

A imagem é carregada para o programa de desenho. De seguida é colocada à escala, recorrendo à escala que a própria imagem apresenta. Este é um passo indispensável, dado que são as dimensões obtidas no desenho que se considerarão em todos os cálculos hidráulicos de dimensionamento. Após essas tarefas, obtém-se a imagem do anexo 2.1.

A respectiva área da propriedade é delimitada e compara-se o valor obtido com o valor que o cliente apresentou como referência. Caso o valor seja demasiado díspar, é necessário verificar todo o trabalho realizado até este ponto, sob pena de comprometer todas as acções seguintes. Identificam-se também pontos essenciais para o projecto, como a origem da água para rega.

Por fim, o desenho está pronto para efectivamente se começar a trabalhar sobre o mesmo (anexo 2.2).

2.3.1. Aspersores e ramais

O primeiro passo no desenho do sistema passa somente por desenhar uma “grelha” que represente os aspersores e as linhas dos ramais.

A “grelha” é colocada numa das extremas da propriedade (anexo 2.3) e roda-se para se obter o sentido ideal dos aspersores, que corresponde ao sentido das linhas de plantação e assim, corresponde normalmente ao sentido de maior comprimento do terreno.

Na parcela Norte repete-se o procedimento. Os aspersores que se encontram completamente fora do terreno são eliminados. Procede-se de seguida a um reajuste dos mesmos sobre o terreno, para que a distribuição dos aspersores seja equilibrada entre as extremas e elimina-se novamente os aspersores que se encontram desenquadrados da área da propriedade. O resultado final encontra-se no anexo 2.4.

Neste projecto, a propriedade encontra-se dividida em duas parcelas por um caminho de acesso privado entre ambas. No entanto, os aspersores mantiveram o compasso independentemente do caminho. Para facilitar o passo seguinte, foi contabilizado o número de aspersores de cada uma das parcelas.

2.3.2. Sectores

A divisão em sectores parte do número de aspersores, total e parcial de cada uma das parcelas. Esta divisão deve ter um sentido eminentemente prático com vista a facilitar a gestão da rega no futuro, sobretudo quando a área não se encontre totalmente cultivada ou se encontre destinada a culturas diferentes. Refira-se novamente que a divisão em sectores é um dos aspectos que mais pesam quando o cliente olha para o projecto.

Conforme foi estimado anteriormente, apenas pela relação da área entre as duas parcelas, a designada parcela Norte deveria permitir a formulação de 2 sectores de rega, enquanto na parcela a Sul seriam formulados os restantes 6 sectores de rega. Através do número de aspersores, verifica-se essa premissa. Na parcela Norte cada sector ficará em média com 47 aspersores, enquanto na parcela Sul serão 46 aspersores em média por sector.

Tendo em conta a geometria da parcela Norte, o cenário ideal será fazer uma divisão transversal relativamente ao sentido dos ramais de forma a dividir os aspersores em igual número. Esta divisão evitará que se formem ramais demasiado longos que prejudicam a uniformidade de rega e assim evita que seja necessário mais do que um bloco de rega por sector, com o custo que isso acarretaria em termos de válvulas. A forma graficamente mais simples para o conseguir é por tentativa e erro, até conseguir equilibrar ao máximo o número de aspersores e, posteriormente fazer algum ajuste caso necessário.

A divisão mais simples que se consegue realizar é a que se apresenta no anexo 2.5. O número de aspersores não é igual, mas a diferença de 2 aspersores é suficientemente pequena para que não se justifique equilibrar os sectores por completo, já que a inclusão de

um dos aspersores mais próximos do sector maior originaria uma divisão potencialmente menos prática para o cliente.

Na parcela Sul, o raciocínio mantém-se sensivelmente o mesmo. Uma divisão transversal na parcela que seja a mais equilibrada possível servirá de referência à construção dos 6 sectores.

A partir dessa linha, constroem-se os sectores para cada um dos lados tendo em consideração que devem ter um número médio de 46 aspersores por sector. A divisão mais simples possível apenas permite formar os sectores 3 e 4 respectivamente com 51 e 50 aspersores. O número é mais elevado do que a média mas estes sectores situam-se próximos da bombagem, pelo que o número é ainda assim admissível, considerando que o terreno não é completamente plano, existindo um desnível desfavorável mais ao menos constante à medida que nos afastamos do caminho que divide as parcelas Norte e Sul. Isto é possível desde que o caudal desses sectores se encontre dentro do débito máximo admissível para o furo, o que se verifica – o sector 3 com 51 aspersores terá um caudal inferior a $32 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ que compara com os $35 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ de máximo do furo.

Considerando o número de aspersores restante, aos sectores seguintes caberá uma média de 43 a 44 aspersores por sector.

Os sectores 5 e 6 foram formados com o mesmo raciocínio (anexo 2.6). Neste caso, o sector 5 com 44 aspersores encontra-se dentro do ideal, mas o sector 6 surge demasiado pequeno, com apenas 39 aspersores.

A forma mais simples de aumentar o sector 6 foi através da inclusão de alguns aspersores da linha seguinte. O sector 6 ficou assim idêntico ao anterior, com 44 aspersores (anexo 2.7).

Se mais nenhuma alteração acontecesse, o número de aspersores restantes para os sectores 7 e 8 seriam respectivamente de 57 e 30 aspersores, um número muito desequilibrado. A este ponto, vale a pena olhar para o trabalho anterior e verificar se se justifica realizar alguma alteração de fundo que possa melhorar a divisão no geral ou se é preferível mexer na divisão transversal aos ramais que se estabeleceu logo desde o início.

Atendendo à divisão simples e equilibrada que se estabeleceu nos sectores anteriores, não se justifica voltar atrás e alterar profundamente a divisão. A solução foi assim alterar a divisão transversal aos ramais para uma posição que equilibre os sectores, como se apresenta no anexo 2.8.

Tratando-se de sectores de dimensão relativamente reduzida, a este ponto não se verifica a necessidade de criar blocos de rega dentro de cada um deles.

Com os sectores delineados, pode-se rectificar os traçados dos ramais que abastecem os aspersores (anexo 2.9).

2.3.3. Cabeçais de válvulas dos sectores

Neste projecto, os cabeçais de válvulas serão concebidos em PVC, um material de durabilidade relativamente limitada mas suficiente para esta situação em que o cliente não pretende um sistema com um período de vida útil elevado. A junção dos acessórios de PVC faz-se por colagem. Uma vez exposto ao sol, o PVC degrada-se com o tempo e torna-se mais quebradiço. É igualmente sensível a qualquer toque que possa levar de máquinas agrícolas.

No entanto, em alguns casos como em explorações de cultura sem solo, o PVC é mesmo o material mais utilizado devido à sua resistência à corrosão provocada pelos adubos veiculados pela água de rega.

Para auxiliar ao posicionamento dos cabeçais de válvulas é necessário ter em linha de conta o desnível existente na parcela. A partir do *Google Earth* foi obtida a cota de alguns dos pontos mais relevantes. Constata-se no anexo 2.10 que a parcela a Norte do caminho é praticamente plana, enquanto na parcela a Sul o declive é ascendente perpendicularmente ao caminho que divide as parcelas Norte e Sul.

O posicionamento dos cabeçais de válvulas baseia-se novamente num equilíbrio técnico e económico.

Nos sectores 1 e 2, praticamente planos, os cabeçais foram posicionados nos respectivos pontos mais próximos da bombagem que permitem que os ramais tenham comprimentos idênticos para ambas as extremidades. Uma posição mais central permitiria uma maior uniformidade de rega mas não parece justificar-se em sectores desta dimensão.

Em termos hidráulicos, segundo a regra de Christiansen, com uma pressão de funcionamento dos aspersores de 30 m, admite-se uma variação de pressão entre o aspersor mais favorável e o aspersor mais desfavorável de 6 m. Com um declive praticamente inexistente, esse valor deixa uma folga confortável para as perdas de carga nas condutas, não havendo problema com a uniformidade de rega. Por outro lado, a opção tomada economiza em condutas e em cabo de comando para as válvulas.

Nos sectores 3 a 6, optou-se por agrupar os cabeçais em grupos de 2, economizando no custo de aquisição e instalação do sistema. O posicionamento escolhido foi novamente o mais centrado possível relativamente aos ramais. No caso dos sectores 3 e 4, os aspersores são abastecidos com um desnível favorável desde a válvula. Nos sectores 5 e 6, há um desnível desfavorável mas parece suficientemente reduzido para não comprometer a uniformidade de rega.

Nos sectores 7 e 8 optou-se por colocar os cabeçais logo na primeira linha de aspersores, o mais próximos possível da bombagem, abastecendo os ramais também a partir da sua posição mais central possível. Novamente se verifica que, em geral, existe um

desnível desfavorável à medida que os aspersores se encontram mais afastados mas não será suficiente para comprometer a uniformidade de rega, enquanto desta forma se economiza em condutas e cabo de comando.

A localização dos cabeçais de válvulas encontra-se no anexo 2.11. As opções tomadas nesta fase serão avaliadas posteriormente através do dimensionamento hidráulico.

2.3.4. Porta-ramais

Os porta-ramais foram delineados desde os cabeçais de válvulas até às extremas opostas dos respectivos sectores, sempre com traçados transversais aos ramais que irão abastecer (anexo 2.12). Os porta-ramais serão enterrados, a partir das quais partirão pequenos troços ascendentes de conduta que abastecerão os ramais à superfície.

Não sendo ainda preponderante em que material serão estas condutas, essa escolha será realizada na fase de dimensionamento hidráulico das mesmas.

2.3.5. Condutas principais

As condutas principais desenvolvem-se em PVC, desde o ponto da bombagem até aos respectivos cabeçais de válvulas. Não existindo qualquer restrição, estabeleceram-se os traçados mais curtos para cada um dos cabeçais com válvulas (anexo 2.13).

No anexo 2.14 pode ser visto o desenho global da rede de condutas deste projecto.

2.4. Dimensionamento hidráulico

2.4.1. Ramais

Para maior facilidade nesta fase, determinaram-se aqueles que serão, à partida, os pontos mais desfavoráveis de cada um dos sectores atendendo às distâncias às respectivas válvulas e ao declive existente. Note-se que neste projecto facilmente se verifica que o ponto mais desfavorável é o ponto localizado no bloco 8 e será com base nesse ponto que será calculada a bombagem. No entanto, nos restantes blocos é necessário calcular também as respectivas pressões necessárias nas válvulas para a sua regulação (anexo 2.15).

No sector 2 consideram-se dois pontos distintos, dado que não é possível determinar qual dos dois é mais desfavorável sem realizar os cálculos hidráulicos. Enquanto um dos pontos se situa mais afastado da válvula e por conseguinte ocorre maior perda de carga no escoamento, o ponto mais próximo tem menores perdas de carga mas simultaneamente um desnível mais desfavorável.

Para ramais deste sistema por aspersão, optou-se por um tipo específico de condutas de PE, comercializado em varas de 6 m e com 50 mm de diâmetro nominal, permitindo assim obter todo o tipo de compassos na linha que sejam múltiplos desse valor.

Para efeito de cálculo de perdas de carga segundo a fórmula de Hazen-Williams, considera-se que possui características idênticas ao tubo de PE de 50 mm com pressão nominal de 4 kgf.cm⁻². O quadro seguinte resume os cálculos das perdas de carga contínuas nos ramais ($h_{l_{ram}}$) para cada um dos pontos mais desfavoráveis referidos anteriormente.

Quadro 2.1: Cálculo das perdas de carga contínuas nos ramais.

Sector	Comp. (m)	Q (m ³ .h ⁻¹)	Nº saídas	F	DE (mm)	DI (mm)	v (m/s)	$h_{l_{ram}}$ (m)
1	66	3,1	5	0,397	50	44	0,57	0,23
2	36	1,3	2*	0,639	50	44	0,24	0,04
	54	2,5	4	0,412	50	44	0,46	0,13
3	54	2,5	4	0,412	50	44	0,46	0,13
4	54	2,5	4	0,412	50	44	0,46	0,13
5	60	2,5	4*	0,486	50	44	0,46	0,17
6	42	1,9	3	0,441	50	44	0,35	0,07
7	48	1,9	3*	0,535	50	44	0,35	0,09
8	60	2,5	4*	0,486	50	44	0,46	0,17

*Nas situações assinaladas, o primeiro aspersor situa-se imediatamente ao início do ramal, pelo que esse aspersor não é considerado no cálculo.

As perdas de carga verificadas nos ramais assumem valores muito baixos, praticamente desprezáveis devido aos seus reduzidos comprimentos e ao baixo caudal dos aspersores escolhidos.

As velocidades são muito reduzidas e seriam inclusivamente velocidades a evitar por possibilitarem a sedimentação nos ramais. No entanto, os 50 mm de diâmetro são uma limitação técnica deste equipamento que não é possível ultrapassar por não ser comercializado em diâmetro mais reduzido. O problema pode ser contornado por uma alteração profunda ao projecto, ao nível da localização dos cabeçais de válvulas e dos porta-ramais, mas essa alteração nunca evitaria as velocidades muito baixas nas suas extremidades.

No entanto, neste tipo de sistema este facto não constitui um problema significativo, visto que os ramais são instalados à superfície do solo com órgãos completamente desmontáveis, sendo facilmente purgados pelas suas extremidades através da remoção dos tampões finais.

2.4.2. Porta-ramais

Os porta-ramais são viáveis quer em PE, quer em PVC. Uma vez que neste projecto os caudais dos blocos são suficientemente reduzidos, possibilitando a utilização de condutas em PE com diâmetros não superiores a 90 mm, limite a partir do qual a sua instalação se torna muito onerosa, opta-se por condutas desse tipo.

Os troços ascendentes que partirão dos porta-ramais até à superfície e que ligarão aos ramais seriam em qualquer circunstância em polietileno, devido à maior resistência a eventuais toques das máquinas agrícolas, pelo que desta forma evita-se a inclusão de acessórios de transição entre PVC e PE.

O quadro seguinte resume o cálculo das perdas de carga contínuas nos porta-ramais segundo a fórmula de Hazen-Williams (hl_{p-ra}).

Quadro 2.2: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nos porta-ramais.

Sector	Comp. (m)	Q ($m^3.h^{-1}$)	Nº saídas	F	DE (mm)	DI (mm)	v (m/s)	hl_{p-ra} (m)
1	45	22	3*	0,535	90	79,2	1,24	0,42
2	0	-	-	-	-	-	-	0
	75	25	5*	0,457	90	79,2	1,41	0,76
3	15	32	-	-	90	79,2	1,81	0,55
4	15	31	-	-	90	79,2	1,75	0,52
5	45	21	3*	0,535	90	79,2	1,19	0,39
6	60	21	4*	0,486	90	79,2	1,19	0,47
7	60	21	4*	0,486	90	79,2	1,19	0,47
8	30	23	2*	0,639	90	79,2	1,30	0,37

*Nas situações assinaladas, as primeiras linhas de ramais encontram-se imediatamente ao início dos porta-ramais, pelo que foi deduzido o caudal referente a esses aspersores ao caudal total do sector.

Ainda que em alguns sectores fosse viável aplicar-se tubo de PE de 75 mm, optou-se por uniformizar todo o sistema com o mesmo diâmetro. O tubo de PE é obrigatoriamente arredondado a múltiplos de 50 para efeitos de orçamentação (visto que é comercializado em rolos com 50 m), pelo que a adopção de tubo de 75 poderia não se traduzir efectivamente numa poupança a nível económico.

Calculou-se também a perda de carga contínua no troço ascendente (hl_{ia}) que ligará os porta-ramais aos ramais. Por uma questão de uniformização, considerou-se um diâmetro único para todas as saídas, baseando-se o cálculo no maior caudal possível que atravessará esse troço, no caso uma das saídas do sector 8 que abastecerá 13 aspersores. A pressão nominal desses troços de PE será de 10 kgf.cm^{-2} , para oferecer uma maior resistência, enquanto nos porta-ramais, que ficarão integralmente enterrados, é suficiente aplicar-se tubo de PE de 4 kgf.cm^{-2} .

Quadro 2.3: Dimensionamento e cálculo da perda de carga contínua no troço ascendente de ligação.

Sector	Comp. (m)	Q (m ³ .h ⁻¹)	Nº saídas	F	DE (mm)	DI (mm)	v (m/s)	h _{lta} (m)
TA	1,2	8	0	-	50	42,6	1,56	0,07

A montagem das saídas dos porta-ramais para os ramais encontra-se esquematizada na figura seguinte.

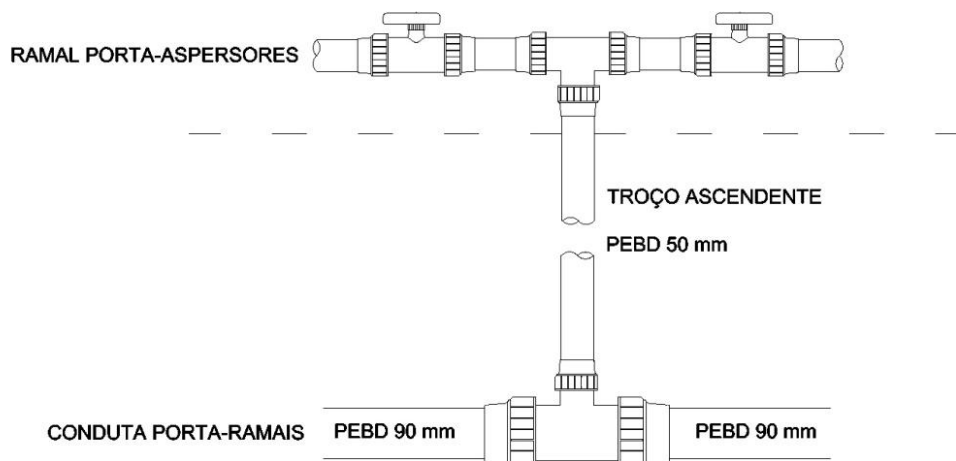


Figura 2.3: Desenho esquemático da ligação entre as condutas porta-ramais e os ramais.

2.4.3. Cabeçais de válvulas dos sectores

Dado tratarem-se de sectores com caudais que variam entre 26,5 m³.h⁻¹ e 31,5 m³.h⁻¹ e porque os cabeçais serão concebidos em PVC, um material mais económico do que o ferro, optou-se por um diâmetro único para os cabeçais tendo por base o caudal do sector maior. Em PVC, mesmo neste tipo de equipamentos, não se admite que a velocidade supere os 2 m.s⁻¹. Por uma questão de resistência e durabilidade, os cabeçais em PVC desenvolvem-se sempre em tubo com pressão nominal de 10 kgf.cm⁻².

Quadro 2.4: Dimensionamento e cálculo da perda de carga contínua nos cabeçais dos sectores.

Sector	Comp. (m)	Q (m ³ .h ⁻¹)	DE (mm)	DI (mm)	v (m.s ⁻¹)	h _{lcab} (m)
3	3	32	90	81,4	1,71	0,19

A escolha das válvulas foi realizado com recurso aos ábacos de perdas de carga que o fornecedor possui para esses equipamentos. As válvulas serão em material plástico, igualmente mais económicas que as válvulas metálicas, conforme ilustra a figura seguinte.



Figura 2.4: Corpo de uma válvula plástica Dorot modelo 75.

Fonte: <http://www.dorot.com/files/cf879734ccc2232a2b2b387c72824433.pdf>, consultado a 04-06-2016.

As válvulas de plástico possuem características hidráulicas diferentes das metálicas (maior perda de carga para um mesmo determinado caudal), conforme se evidencia no ábaco representado na figura seguinte.

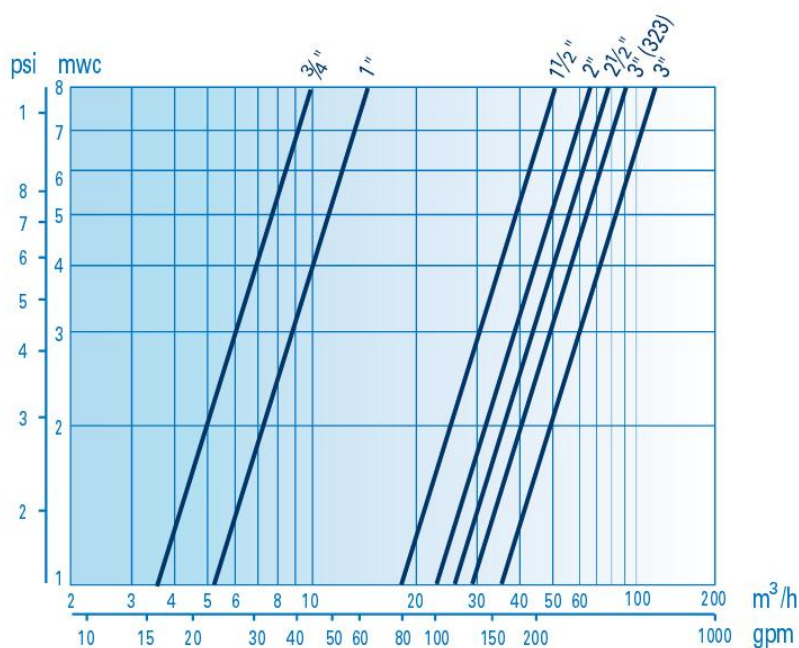


Figura 2.5: Perdas de carga nas válvulas modelo Dorot modelo 75 em função do caudal.

Fonte: <http://www.dorot.com/files/cf879734ccc2232a2b2b387c72824433.pdf>, consultado a 04-06-2016.

O quadro seguinte resume a dimensão das válvulas escolhidas para cada bloco e a perda de carga singular aproximada que se verifica à passagem da água.

Quadro 2.5: Dimensão das válvulas e estimativa da perda de carga singular segundo a figura 3.5.

Sector	Q (m ³ .s ⁻¹)	Dimensão (")	h _{valv} (m)
1	29	2	<2
2	30	2	<2
3	32	2	2
4	31	2	<2
5	28	2	<2
6	28	2	<2
7	27	2	<2
8	28	2	<2

Dada a relativa uniformidade dos caudais dos sectores, foi possível optar pelo mesmo diâmetro para todas as válvulas. O diâmetro escolhido é bastante equilibrado, possibilitando que nos sectores mais próximos da bombagem, com caudais superiores, haja uma maior perda de carga, enquanto nos sectores mais afastados e com menores caudais, a perda de carga seja inferior.

Para facilitar os cálculos considera-se em diante que a perda de carga do conjunto válvula e cabeçal é de 2 m em todos os sectores com excepção do sector 3, onde se considerará 2,2 m.

O desenho esquemático dos cabeçais de válvulas consta das figuras seguintes. Dado que existem cabeçais com uma ou duas válvulas, apresentam-se ambos os modelos.

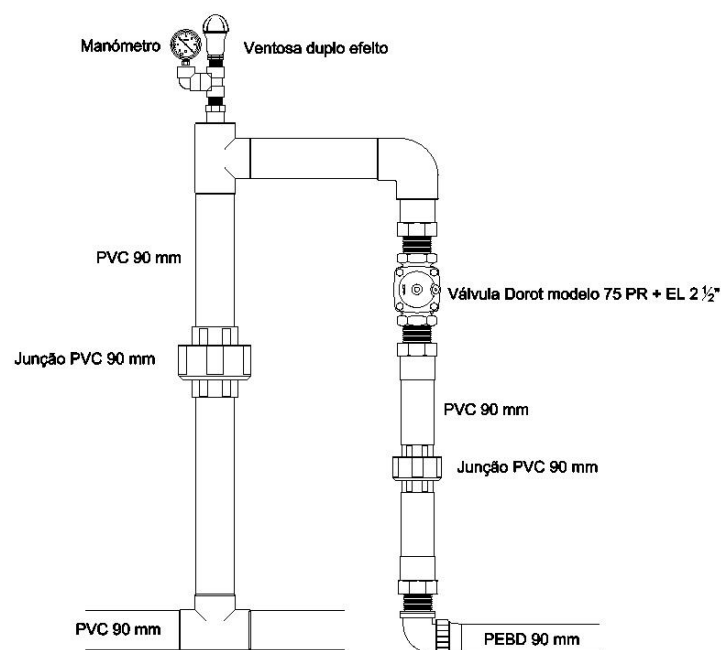


Figura 2.6: Desenho esquemático dos cabeçais de sector com uma válvula.

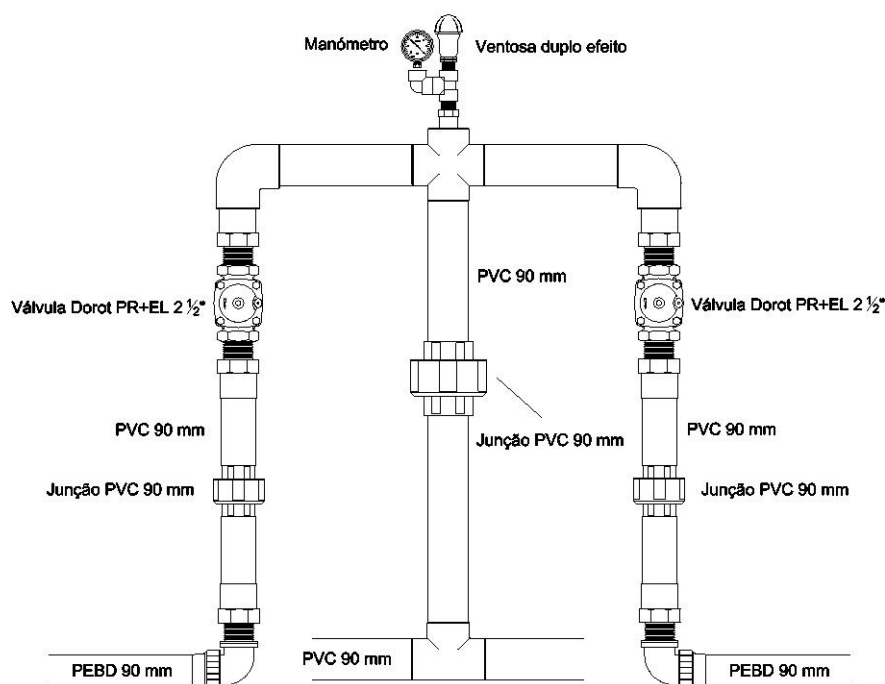


Figura 2.7: Desenho esquemático dos cabeçais de sector com duas válvulas.

2.4.4. Pressão de regulação das válvulas

Nesta fase pode ser calculada a pressão de regulação das válvulas de cada sector, considerando a pressão de funcionamento dos aspersores (30 m), o desnível existente em cada sector e a altura dos ramos porta-aspersores, cerca de 0,80 m. A perda de carga contínua no porta-aspersor é tão insignificante que não merece ser considerada. Sobre as perdas de carga calculadas para as condutas até este ponto (ramais, troço ascendente, porta-ramais e cabeçais de válvulas), acrescentaram-se mais 10% para as perdas singulares. A fórmula de cálculo é assim:

$$P_{reg} = \Delta z + z_{pa} + \frac{p}{\gamma} + hl_{ram} + hl_{p-ra} + hl_{ta} + h_{cab+valv} + h_s \quad [3.1]$$

sendo:

z_{pa} (m) – altura do porta-aspersor;

h_s (m) – 10% de folga sobre todas as perdas de carga calculadas.

O quadro seguinte resume este cálculo.

Quadro 2.6: Cálculo da pressão de regulação das válvulas dos sectores.

Sector	Δz (m)	z_{pa} (m)	p/γ (m)	$h_{l,ram}$ (m)	$h_{l,p-ra}$ (m)	$h_{l,ta}$ (m)	$h_{cab+valv}$ (m)	h_s (m)	P_{reg} (m)
1	0	0,80	30	0,23	0,42	0,07	2	0,28	33,8
2	1	0,80	30	0,04	0	0,07	2	0,22	34,2
	0	0,80	30	0,13	0,76	0,07	2	0,30	34,1
3	0	0,80	30	0,13	0,55	0,07	2,2	0,30	34,1
4	1	0,80	30	0,13	0,52	0,07	2	0,28	33,8
5	4	0,80	30	0,17	0,39	0,07	2	0,27	37,7
6	4	0,80	30	0,07	0,47	0,07	2	0,27	37,7
7	3	0,80	30	0,09	0,47	0,07	2	0,27	36,7
8	3	0,80	30	0,17	0,37	0,07	2	0,27	36,7

No bloco 2, onde à partida era difícil apontar o ponto mais desfavorável, verifica-se que ambos se encontram praticamente equiparados, com uma diferença de uma décima.

Em todos os sectores, as pressões consideradas à entrada dos sectores não excedem a pressão nominal máxima de 4 kgf.cm^{-2} para os porta-ramais. Comparando os desníveis favoráveis existentes nos vários sectores com as pressões nas válvulas, verifica-se também que, com as válvulas correctamente reguladas, não existe o risco da pressão exceder os 4 kgf.cm^{-2} em qualquer ponto do sistema.

Este cálculo difere aqui daquilo que é recomendado pela bibliografia. Nesta situação, o cálculo foi realizado tendo em consideração que o aspersor mais desfavorável trabalhará a uma pressão de 30 m, o que resulta, na prática, que a pressão média de trabalho dos aspersores será na realidade superior a 30 m. Segundo a bibliografia, este cálculo deveria ser realizado considerando o desnível médio do sector e três quartos das perdas de carga que acontecem do ramal.

2.4.5. Regra de Christiansen

Para efeitos de verificação da regra de Christiansen, estimaram-se as pressões dos aspersores mais favoráveis e mais desfavoráveis (anexo 2.16) em cada um dos sectores segundo a metodologia adoptada nos cálculos anteriores. Aos valores das pressões nas válvulas foram deduzidas as perdas de carga que ocorrem nos respectivos trajectos e, nos casos onde tal se verificasse, foram considerados os desníveis existentes

Sabendo que a pressão de funcionamento dos aspersores será em média de 30 m, uma variação máxima de 20% corresponde no máximo a 6 m.

Note-se que normalmente este trabalho não é realizado de forma tão detalhada, dado que o projectista com base na referência dos 6 m consegue imeditamente ter a percepção em alguns casos que as variações estão dentro desse intervalo.

O cálculo da pressão no aspersor mais favorável (P_{asp}) foi realizado deduzindo a diferença de cota entre esse aspersor e o cabeçal do bloco, sempre que se verifique, a altura do aspersor relativamente ao solo, as perdas de carga no cabeçal, na válvula, nos ramais, nos porta-ramais e no troço ascendente, à pressão de regulação da válvula de cada bloco, segundo a fórmula:

$$P_{asp} = P_{reg} - \Delta z - z_{ta} - h_{cab+valv} - h_{lram} - h_{lp-ra} - h_{lta} \quad [3.2]$$

O quadro seguinte resume este cálculo, apresentando respectivamente o aspersor mais favorável em primeiro lugar e o aspersor mais desfavorável em segundo.

Quadro 2.7: Cálculo da variação de pressão de funcionamento dos aspersores mais favoráveis.

Sector	P_{reg} (m)	Δz (m)	Z_{pa} (m)	$h_{cab+valv}$ (m)	h_{lram} (m)	h_{lp-ra} (m)	h_{lta} (m)	P_{asp} (m)	ΔP (%)
1	33,8	0	0,80	2	-	-	0,07	31,0	3,4
2	34,2	0	0,80	2	-	-	0,07	31,4	4,7
3	34,1	-4	0,80	2	0,13	1,20	0,07	33,9	13,0
4	33,8	-5	0,80	2,2	0,13	1,14	0,07	34,5	15,0
5	37,7	0	0,80	2	0,05	-	0,07	34,8	16,0
6	37,7	0	0,80	2	0,03	-	0,07	34,8	16,0
7	36,7	0	0,80	2	-	-	0,07	33,9	13,0
8	36,7	-1	0,80	2	0,58	-	0,07	34,3	14,4

Face aos dados existentes no projecto é seguro afirmar que a variação de pressão entre emissores não excede os 20% em qualquer sector. No entanto, entre os blocos 3 a 8, a variação é sempre superior a 10%. Nos blocos 3 e 4, a variação deve-se ao declive favorável, enquanto nos restantes blocos a variação justifica-se pelo declive desfavorável.

Tecnicamente estas variações poderiam ser significativamente minoradas caso as válvulas fossem posicionadas não à extrema dos respectivos sectores mas numa posição mais central. No entanto, a opção tomada é significativamente mais económica em termos de condutas, acessórios de ligação, cabos de comando das válvulas e mão-de-obra.

Ressalva-se que os dados altimétricos que serviram de base aos cálculos baseiam-se exclusivamente em imagens de satélite e não são completamente fiáveis, mesmo considerando que o cliente confirmou a existência do referido desnível.

2.4.6. Condutas principais

Devido à extensão relativamente reduzida de condutas e à uniformidade de caudais, optou-se por condutas principais com um diâmetro único.

Nesta fase, à partida apenas importaria considerar o sector mais desfavorável, ou seja, o sector 8, que é o sector preponderante para o cálculo da bombagem. No entanto, tratando-se de um projecto com um número relativamente reduzido de sectores e uma vez que esse cálculo em alguns casos será útil posteriormente, realizou-se o cálculo para todos os sectores.

Comparando a pressão exigida na válvula do sector mais desfavorável – 36,7 m – e o desnível existente até ao mesmo – 8 m – permite concluir que existe uma folga de cerca de 15 m para as perdas de carga de forma a que seja possível aplicar tubagem em PVC com pressão nominal de 6 kgf.cm⁻², desejável por ser mais económica.

O quadro seguinte sintetiza as perdas de carga contínuas que acontecem nas condutas principais respectivamente para cada sector.

Quadro 2.8: Dimensionamento e cálculo das perdas de carga contínuas nas condutas principais.

Sector	Q (m ³ .h ⁻¹)	Comp. (m)	DE (mm)	DI (mm)	v (m.s ⁻¹)	h _{l pri} (m)
1	29	35	90	84,6	1,43	0,77
2	30	105	90	84,6	1,48	2,47
3	32	130	90	84,6	1,58	3,44
4	31	175	90	84,6	1,53	4,37
5	28	130	90	84,6	1,38	2,69
6	28	175	90	84,6	1,38	3,62
7	27	220	90	84,6	1,34	4,25
8	28	220	90	84,6	1,38	4,55

Os diâmetros das condutas encontram-se sintetizados no anexo 2.17.

2.4.7. Cabeçal de rega

A componente hidráulica de um cabeçal de rega inclui vários equipamentos de controlo, regulação e segurança, nomeadamente válvulas de seccionamento manual e, por vezes, também válvulas automáticas, manómetros, válvulas de purga e um contador de caudal, e conta ainda com os equipamentos de filtração. O cabeçal apresenta ainda uma componente eléctrica que é sempre tratada por técnicos especializados nessa área.

No cabeçal, é necessário realizar o dimensionamento das condutas de ligação e o dimensionamento do filtro. Alguns equipamentos, como as válvulas manuais e o contador de caudal tomam simplesmente o mesmo diâmetro da conduta.

A maioria dos cabeçais de rega são concebidos totalmente em ferro galvanizado, como acontece neste caso. Contudo, há situações em que o ferro é excluído, total ou parcialmente, sobretudo em sistemas de rega para cultura sem solo.

2.4.7.1. Filtração

Os sistemas de rega por aspersão possuem requisitos de filtração inferiores aos sistemas de rega localizada, podendo mesmo em algumas situações excluir-se a filtração por completo.

As águas subterrâneas, provenientes de furos, não apresentam normalmente necessidades significativas de filtração. Os contaminantes mais usuais neste tipo de águas são as partículas do solo envolvente, que podem ser aspiradas pela bombagem, dado que os furos contêm ao longo do seu perfil várias perfurações que permitem a entrada da água do lençol freático e que podem arrastar consigo algumas partículas. A situação é agravada quando se instala a bomba a uma determinada profundidade onde existam essas perfurações, algo que na prática nunca é conhecido.

Para evitar o desgaste acentuado de alguns equipamentos provocado pelas partículas de areia, inclui-se um filtro hidrociclone que retém a maior parte desse tipo de partículas. O dimensionamento do filtro recorre novamente aos dados técnicos do fornecedor do equipamento. Este possui uma tabela com os caudais correspondentes a cada limiar de perda de carga e a mesma informação através de um ábaco que se apresenta na figura seguinte.

Note-se que o sector de maior dimensão é o sector 3, com um caudal de $32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, e será esse sector a servir de base ao dimensionamento do filtro.

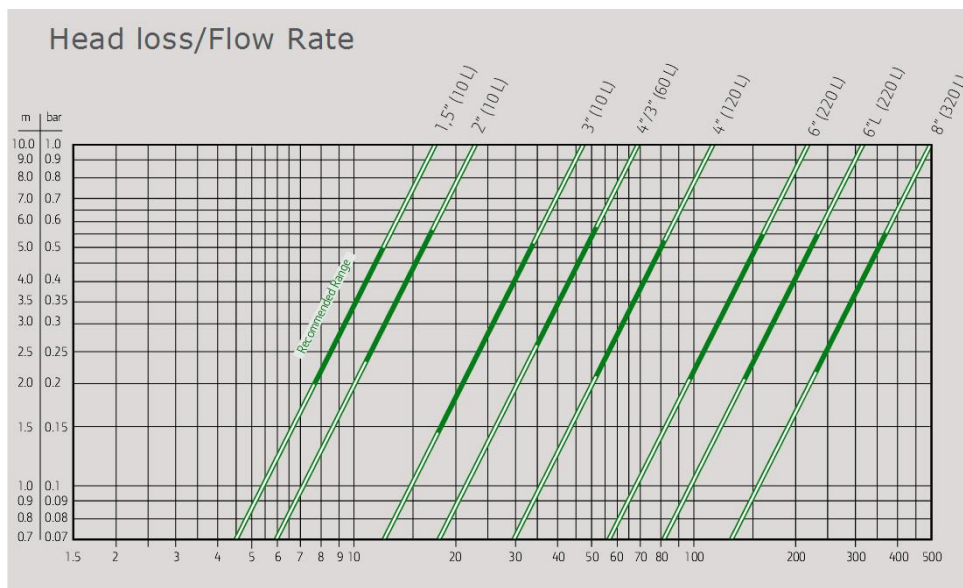


Figura 2.8: Perdas de carga do filtro hidrociclone *Rivulis F1000* em função do caudal.

Fonte: http://rivulis.com/wp-content/uploads/2014/12/RIV_DS_F1000_R2_EN_W14_03521.pdf, consultado a 04-06-2016.

Observando os dados do fornecedor constata-se que o filtro hidrociclone adequado tem uma dimensão de 3 polegadas. O caudal situa-se próximo do limite máximo

aconselhável ($34 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), induzindo uma perda de carga entre 4 e 5 m. No entanto, pela experiência adquirida na empresa verifica-se frequentemente perdas de carga bastante superiores às esperadas. De forma geral considera-se uma perda de carga de 7 m para os filtros hidrociclone.

2.4.7.2. Conduta de ligação do cabeçal

O dimensionamento das condutas em ferro galvanizado, obedece à regra da velocidade não exceder $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. O caudal de referência para o dimensionamento é também de $32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. O quadro seguinte apresenta as opções viáveis para esta conduta.

Quadro 2.9: Dimensionamento da conduta de ligação do cabeçal de rega principal.

DE (mm)	DI (mm)	v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
80	73,6	2,09
100	92,8	1,32

Verifica-se que o diâmetro mais adequado é de 80 mm (3 polegadas), o mesmo diâmetro do filtro hidrociclone. A velocidade excede os $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, o que só por si já não constitui qualquer problema nesta situação mas note-se que na prática isso verifica-se apenas para o sector 3, uma vez que todos os restantes estão projectados com caudais inferiores.

2.4.8. Coluna de compressão

A coluna de compressão é responsável pela condução da água desde a bomba localizada no furo até à superfície onde ligará ao cabeçal de rega.

Actualmente o material mais utilizado nas colunas de compressão é o PVC, com varas de elevada resistência da marca comercial *Aqualife*® concebidas especificamente para este propósito e que simultaneamente conduzem a água e suportam a bomba. Estão disponíveis diâmetros de 1 a 6 polegadas, com uma gama de condutas de diferentes resistências dentro de cada medida, consoantes as necessidades de pressão e do peso da bomba a suportar pela coluna.

Em termos hidráulicos, em colunas de compressão deste tipo admite-se que a velocidade de escoamento supere os $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, não devendo contudo ir além dos $2,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

A profundidade de instalação da bomba anda normalmente no mínimo de 10 m abaixo do nível hidrodinâmico, sendo 15 e 20 m valores muito usuais. As varas são comercializadas com 3 m de comprimento, pelo que a coluna tem sempre um comprimento

múltiplo desse valor. Com um nível hidrodinâmico no furo de 25 m, considera-se assim razoável instalar a bomba aos 42 m, correspondendo esse valor a 14 varas.

O dimensionamento da coluna de compressão obedece à fórmula de Hazen-Williams com coeficiente de rugosidade de 150. O cálculo da coluna de compressão adequada encontra-se sintetizado no quadro seguinte:

Quadro 2.10: Dimensionamento e cálculo da perda de carga contínua na coluna de compressão.

DE (mm)	DI (mm)	v (m.s ⁻¹)	h _{lcc} (m)
88	80	1,77	1,46
113	100	1,13	0,49

A opção mais adequada é a coluna de compressão de 88 mm, permitindo uma velocidade ainda abaixo dos 2 m.s⁻¹ e uma perda de carga inferior a 1,5 m, um valor reduzido que se justifica pelo comprimento reduzido da coluna.

O desenho esquemático do cabeçal de rega encontra-se no anexo 2.18.

2.5. Altura manométrica

Com todos os cálculos referentes às perdas de carga já realizados, cabe em último lugar calcular a altura manométrica exigida pelo sistema (HT). Uma vez que a bomba terá de estar apta a trabalhar com todos os sectores, que possuem exigências de caudal e pressão distintas, é necessário calcular pelo menos a altura manométrica para as situações extremas que o projecto apresenta.

Neste projecto verificam-se três situações extremas:

- o sector 1, o mais favorável pelo desnível e por ser o mais próximo da bombagem;
- o sector 3, que apresenta o maior caudal exigido no projecto; no entanto, note-se que o sector 4 exige praticamente o mesmo caudal mas o seu ponto mais desfavorável encontra-se a uma cota superior, havendo assim que considerar ambos os sectores;
- o sector 8, por ser aquele que vai exigir maior pressão.

No entanto, dado o reduzido número de sectores e sendo a situação ideal, realizou-se o cálculo da altura manométrica para os 8 sectores que compõem o sistema.

Dado que a pressão necessária em cada válvula já foi calculada anteriormente, considera-se aqui esse valor, sendo necessário ainda somar o nível hidrodinâmico e o desnível da bombagem às válvulas dos respectivos sectores na componente da cota (z) e as perdas de carga na coluna de compressão, cabeçal de rega e condutas principais. O cálculo da altura manométrica assume assim a fórmula:

$$HT = N_{hd} + \Delta z + P_{reg} + hl_{cc} + h_{hid} + hl_{pri} \quad [3.3]$$

sendo:

HT (m) – altura manométrica requerida pelo sistema;

N_{hd} (m) – nível hidrodinâmico do furo;

Dado tratar-se de um projecto realizado sobre imagens de satélite, considerou-se no fim uma folga adicional de 5% sobre a pressão necessária a todo o sistema como margem de segurança que permita absorver eventuais imprecisões no projecto. O cálculo encontra-se apresentado no quadro seguinte.

Quadro 2.11: Cálculo da altura manométrica requerida por cada sector de rega.

Sector	Q (m ³ .h ⁻¹)	z (m)		P _{reg} (m)	Perdas de carga			HT (m)	HT+5% (m)
		N _{hd} (m)	Δz (m)		hl _{cc} (m)	h _{hid} (m)	hl _{pri} (m)		
1	29	25	0	33,8	1,46	7	1,21	68,47	71,90
2	30	25	0	34,2	1,46	7	3,99	71,31	74,90
3	32	25	5	34,1	1,46	7	3,44	76,00	79,80
4	31	25	5	33,8	1,46	7	4,37	76,63	80,47
5	28	25	4	37,7	1,46	7	2,69	77,85	81,75
6	28	25	5	37,7	1,46	7	3,62	79,78	83,77
7	27	25	6	36,7	1,46	7	4,25	80,41	84,44
8	28	25	8	36,7	1,46	7	4,55	82,71	86,85

Por uma questão prática e para evitar a realização de cálculos muito extensivos que não se traduziriam em diferenças significativas, considerou-se apenas o valor de perda de carga na coluna de compressão segundo o sector mais exigente em caudal (sector 3).

Antes de partir para a escolha da bomba, é necessário conferir se as condutas principais se encontram dentro do limite de 6 kgf.cm⁻² de pressão nominal. Deduzindo o valor do nível hidrodinâmico a todos os valores finais, verifica-se que só no sector 8 é necessário mais de 6 kgf.cm⁻² à saída do furo. Deduzindo a perda de carga no filtro hidrociclone, conclui-se que será necessário cerca de 55 m de pressão à entrada das condutas principais, valor a partir do qual é aconselhável optar-se por condutas de 10 kgf.cm⁻².

No entanto, esse valor aconselha prudência na escolha da bomba. Uma bomba demasiado folgada significará que a pressão à entrada da conduta principal poderá exceder os 6 kgf.cm⁻².

Na escolha da bomba é necessário ter em consideração que esta cumpra os seguintes requisitos de caudal e pressão, de acordo com as situações extremas a que terá de atender:

- caudal de $29 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a uma altura de 72 m (sector 1);
- caudal de $28 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a uma altura de 87 m (sector 8);
- caudal de $32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a uma altura de 80 m ou $31 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a uma altura de 81 m (sectores 3 e 4);

O fornecedor possui a seguinte família de bombas submersíveis para furos mais enquadradas nestas necessidades:

E6P35
Energy

ErP Ready

caprari

Operating data
Caracteristiques de fonctionnement
Caratteristiche di funzionamento

Electric pump type Electropompe type Elettropompa tipo	Motor power Puiss. moteur Potenza motore		Horizontal installation Installation horizontale Installazione orizzontale	Check valve Ø Clapet de retenue Ø Valvola di ritegno Ø	Capacity Debit Portata													
					[l/s]	0	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	[l/min]	0			300	360	420	480	540	600	660	720	780	840	900			
	[m³/h]	0			18	21,6	25,2	28,8	32,4	36	39,6	43,2	46,8	50,4	54			
	Head Hauteur Prevalenza																	
[kW]	[HP]																	
E6P35/3I+MAC65A	4	5,5	■	3" Gas	[m]	40	37	36	35	33,5	31,5	29	26	23	18,5	14	-	
E6P35/4I+MAC67A	5,5	7,5	■	3" Gas	[m]	54	50	49	47,5	45,5	43,5	40	36	31,5	26	19,5	-	
E6P35/6L+MAC610A	7,5	10	■	3" Gas	[m]	77	71	69	66	63	60	55	49	41,5	33	23	-	
E6P35/7N+MAC612A	9,2	12,5	■	3" Gas	[m]	94	87	85	83	79	75	70	63	54	45	33	-	
E6P35/8A+MAC615A	11	15	■	3" Gas	[m]	110	102	100	97	94	89	83	75	66	55	42,5	28,5	
E6P35/10M+MAC617A	13	17,5	■	3" Gas	[m]	133	124	121	116	112	106	97	88	76	62	46,5	-	
E6P35/11I+MAC620A	15	20	■	3" Gas	[m]	151	141	138	134	128	122	112	102	90	75	56	-	
E6P35/12A+MAC625A	18,5	25	■	3" Gas	[m]	166	154	151	146	141	134	125	112	98	82	64	-	
E6P35/14M+MAC625A	18,5	25	■	3" Gas	[m]	188	174	169	164	157	148	137	123	107	88	65	-	
E6P35/15A+MAC630A	22	30	■	3" Gas	[m]	208	193	189	183	176	167	156	142	125	104	80	-	

Figura 2.9: Características de funcionamento das electrobombas Caprari da série E6P35.

Adaptado de http://www.karoint.cz/sites/default/files/E6-22_tec_it_en_fr_1.pdf, consultado a 04-06-2016.

Verifica-se que o modelo que cumpre todas as premissas é o grupo constituído pelo grupo hidráulico E6P35/8A com um motor MAC615A com potência de 11 kW. O grupo anterior, E6P35/7N + MAC612A, com uma potência inferior, está demasiado distante dos requisitos necessários: no caso do sector 8, onde são necessários $28 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a uma altura de 87 m, este grupo apenas faz uma altura de cerca de 80 m. Sendo uma diferença demasiado grande, não existe nenhuma alteração no projecto que possa tornar possível a sua escolha.

No entanto, o grupo de bombagem mais adequado apresenta uma folga expressiva em todos os pontos de funcionamento dos 8 sectores. No caso do sector 1, com uma necessidade de $29 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a uma altura de 72 m, este grupo supera mesmo a altura

necessária por mais de 20 m e coloca em causa a instalação de condutas principais com pressão nominal de 6 kgf.cm^{-2} .

Existem várias soluções que podem ser adoptadas, nomeadamente:

- 1) a alteração das condutas principais no projecto de 6 kgf.cm^{-2} para 10 kgf.cm^{-2} ;
- 2) a instalação de uma válvula redutora de pressão à saída do cabeçal de rega;
- 3) a instalação de um variador de frequência no quadro eléctrico, que através da variação da frequência da energia eléctrica recebida pelo motor, faz variar a velocidade da bomba e, por conseguinte, permite que a bomba trabalhe em pontos diferentes da curva característica de acordo com as necessidades de cada sector.

A primeira opção determina uma pequena alteração no projecto no que se refere às perdas de carga nas condutas principais. Através dessa opção, a regulação de pressão acontecerá sempre nas válvulas de controlo de cada sector, mas a energia associada à pressão que será necessário reduzir é sempre desperdiçada.

O mesmo acontece na segunda opção. O que difere esta segunda alternativa da primeira é que a instalação de uma válvula redutora de pressão à saída do cabeçal não representa qualquer alteração nos cálculos do projecto. Uma vez que se tratam de opções técnicas que, no final, atingem um mesmo objectivo, a única razão para a escolha de uma ou de outra é o custo e eventuais expansões ou alterações no sistema que o cliente pretenda fazer a médio ou longo-prazo.

Por último, a opção de instalar um variador de frequência no quadro eléctrico é por certo a opção mais cara, mas é a única que permite economizar energia enquanto a bomba se encontra em funcionamento. Essa economia de energia atinge, por vezes, valores muito expressivos. Sem dúvida que, neste projecto, esta é a opção preferível. Num quadro eléctrico com uma potência de 11 kW, um variador de frequência não representa um custo tão expressivo como poderia tomar para potências superiores (onde atinge os vários milhares de euros), pelo que a economia energética facilmente compensa esta opção a médio/longo prazo.

III. Conclusão

Os projectos para sistemas de rega apresentam frequentemente limitações severas à sua implementação, que vão desde o abastecimento de água, a condicionantes topográficas ou a limitações técnicas das infraestruturas utilizadas. No dia-a-dia de trabalho deste ramo, é necessário desenvolver soluções à altura de cada um dos problemas, de forma a resolvê-los ou pelo menos mitigar o seu impacto.

Os dois trabalhos apresentados mostraram de que forma surgem algumas dessas questões enquanto se elaboram os projectos e, em ambos os casos, foi possível desenvolver soluções técnicas diferentes que permitiram, no final, obter duas soluções viáveis na sua globalidade.

Como actividade comercial, o projecto de sistemas de rega assenta sempre numa relação com cada cliente. Cada cliente possui as suas ideias para os sistemas de rega que pretendem implementar, impondo por vezes restrições técnicas. Conforme ficou demonstrado, nem sempre essas restrições correspondem àquilo que seria tecnicamente recomendado.

No entanto, num ramo de negócio onde cumprir essas premissas que são impostas ou não cumprir pode fazer a diferença entre vender ou não vender um projecto, essas restrições acabam com frequência por imperar, resultando em soluções que são viáveis mas que não produzem os resultados práticos que poderiam produzir.

Relativamente à metodologia da empresa utilizada nos projectos, existe também margem para esta ser melhorada a diversos níveis, que poderia resultar em melhores projectos, com melhor desempenho, mais baratos de implementar e mais económicos de explorar para o agricultor.

A implementação de metodologias mais rigorosas nos cálculos, que vão de encontro às recomendações da bibliografia terá sempre alguma resistência nas empresas, visto que representam mais horas de trabalho para o projectista. No entanto, ficou igualmente demonstrado, no caso do cálculo das necessidades hídricas de ponta para os sistemas de rega, como também existem pequenas alterações na metodologia que custam muito pouco tempo de trabalho e que podem afectar severamente um projecto.

Referências bibliográficas

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998) – *Crop Evapotranspiration (Guidelines for computing water requirements)*. FAO Irrigation and Drainage Paper no 56. FAO. Roma.

Allen, R. G., Pereira, L. S. (2009) – *Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height*. Irrigation Science 28: 17-24 p.

Christiansen, J. E. (1942) – *Irrigation by Sprinkling*. California Agriculture Experiment Station Bulletin, Berkeley, No. 670.

CIMIS (2016) – *Basic irrigation scheduling*. Disponível em http://biomet.ucdavis.edu/irrigation_scheduling/bis/BIS.htm. Consultado a 10-10-2016.

García-Tejero, I. F., Hernández, A., Rodríguez, V. M., Ponce, J. R., Vamos, V., Muriel, J. L., Durán-Zuazo, V. H. (2015) – *Estimating almond crop coefficients and physiological response to water stress in semiarid environments (SW Spain)*. Journal of Agricultural Science, vol. 17: 1255-1266 p.

Girona, J. (2006) – *La resposta del cultivo del almendro al riego*. Vida Rural, 1 Setembro 2006: 12-16 p.

ISA (2016) – *Secção de agricultura. Dados meteorológicos - Portalegre*. Disponível em http://agricultura.isa.utl.pt/agribase_temp/solos/. Consultado a 01-07-2016.

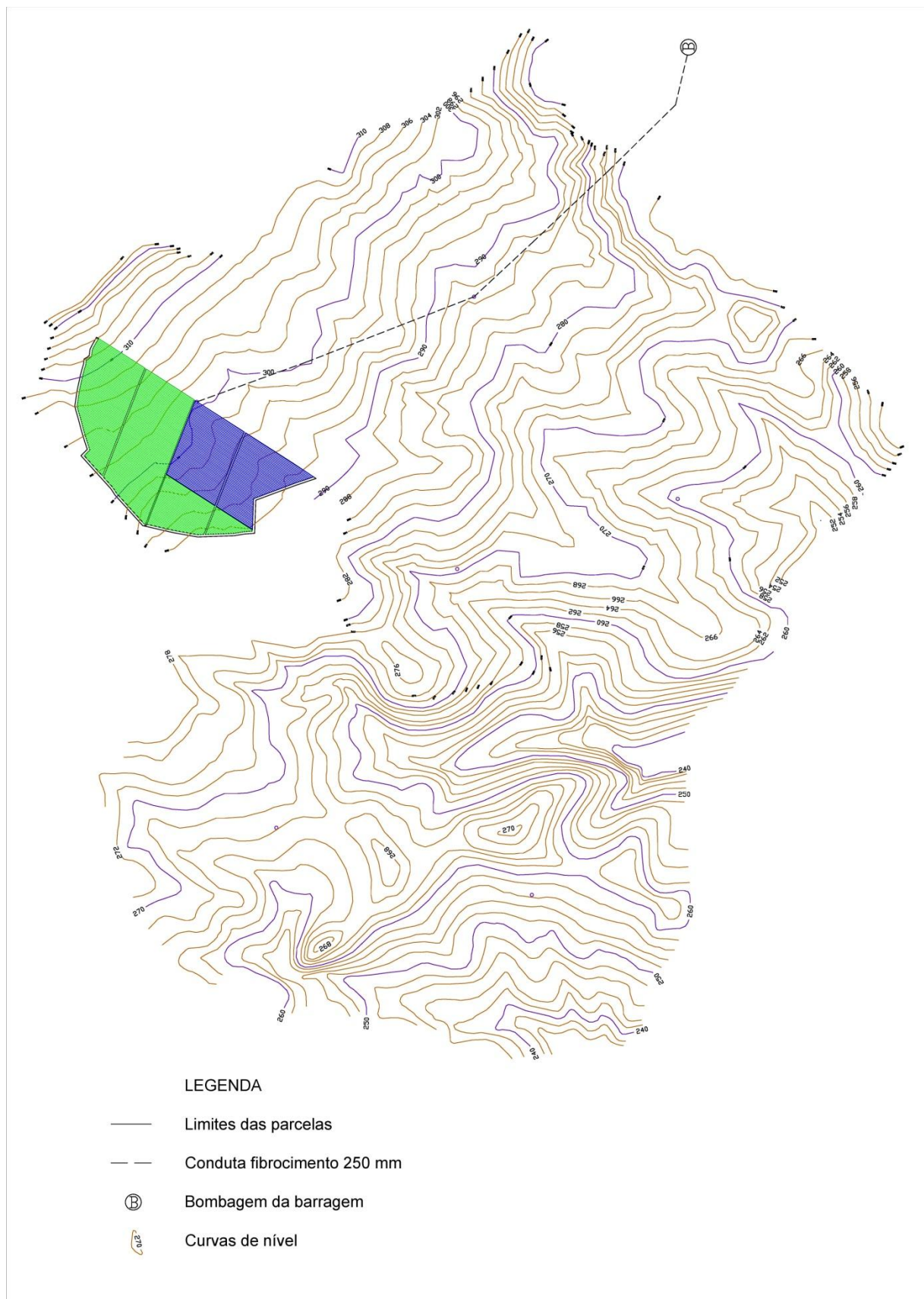
Karmeli, D., Keller J. (1975) – *Thrackle Irrigation Design. Rain-Bird Sprinkler*. Glendora, USA citado por Raposo (1994).

Raposo, J. R. (1994) – *A Rega Localizada (gota-a-gota e miniaspersão)*. Edições Correio Agrícola, Lisboa: 166 p.

Anexos

(esta página foi propositadamente deixada em branco)

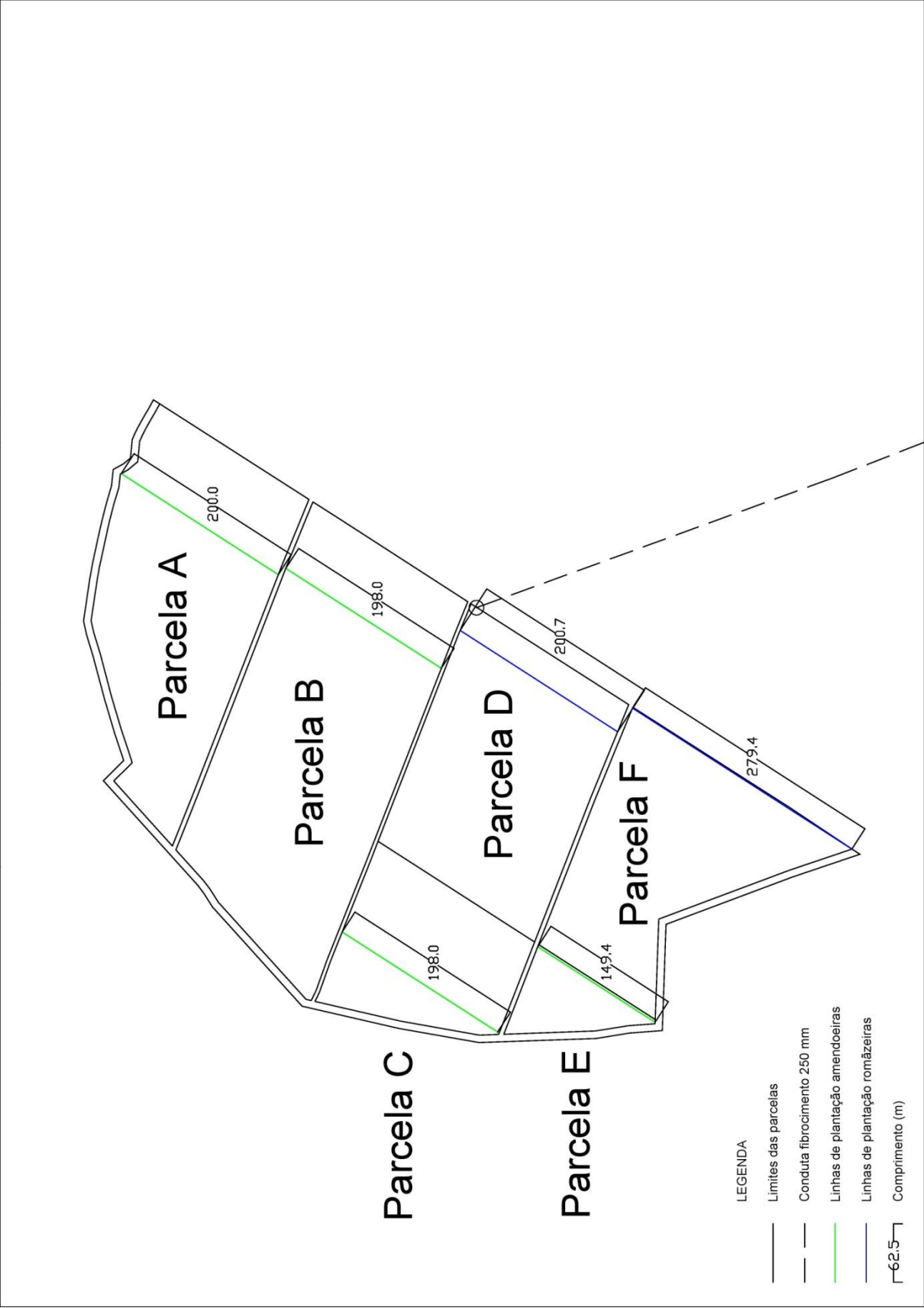
Anexo 1.1 – Levantamento topográfico



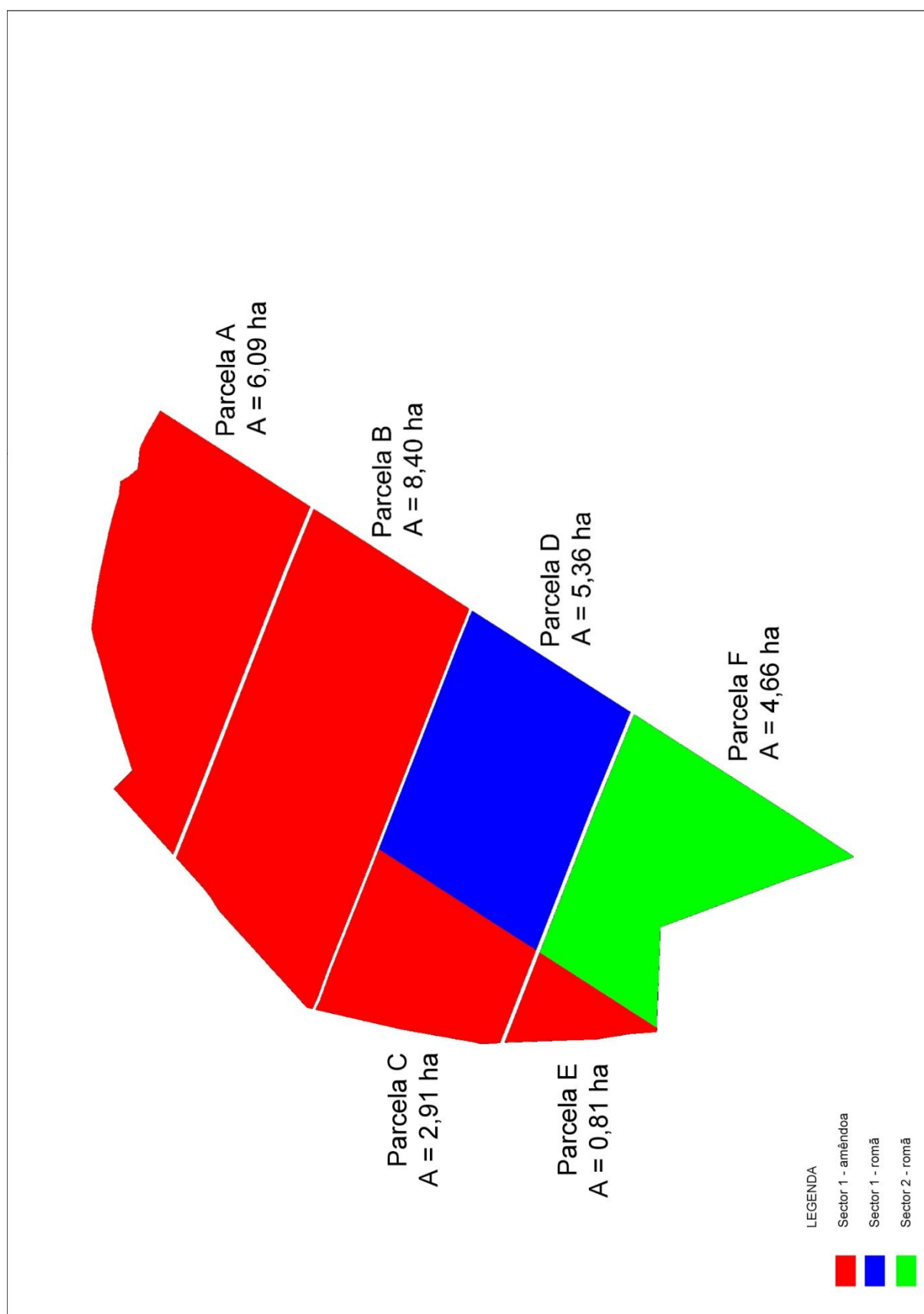
Anexo 1.2 – Levantamento topográfico da área em estudo



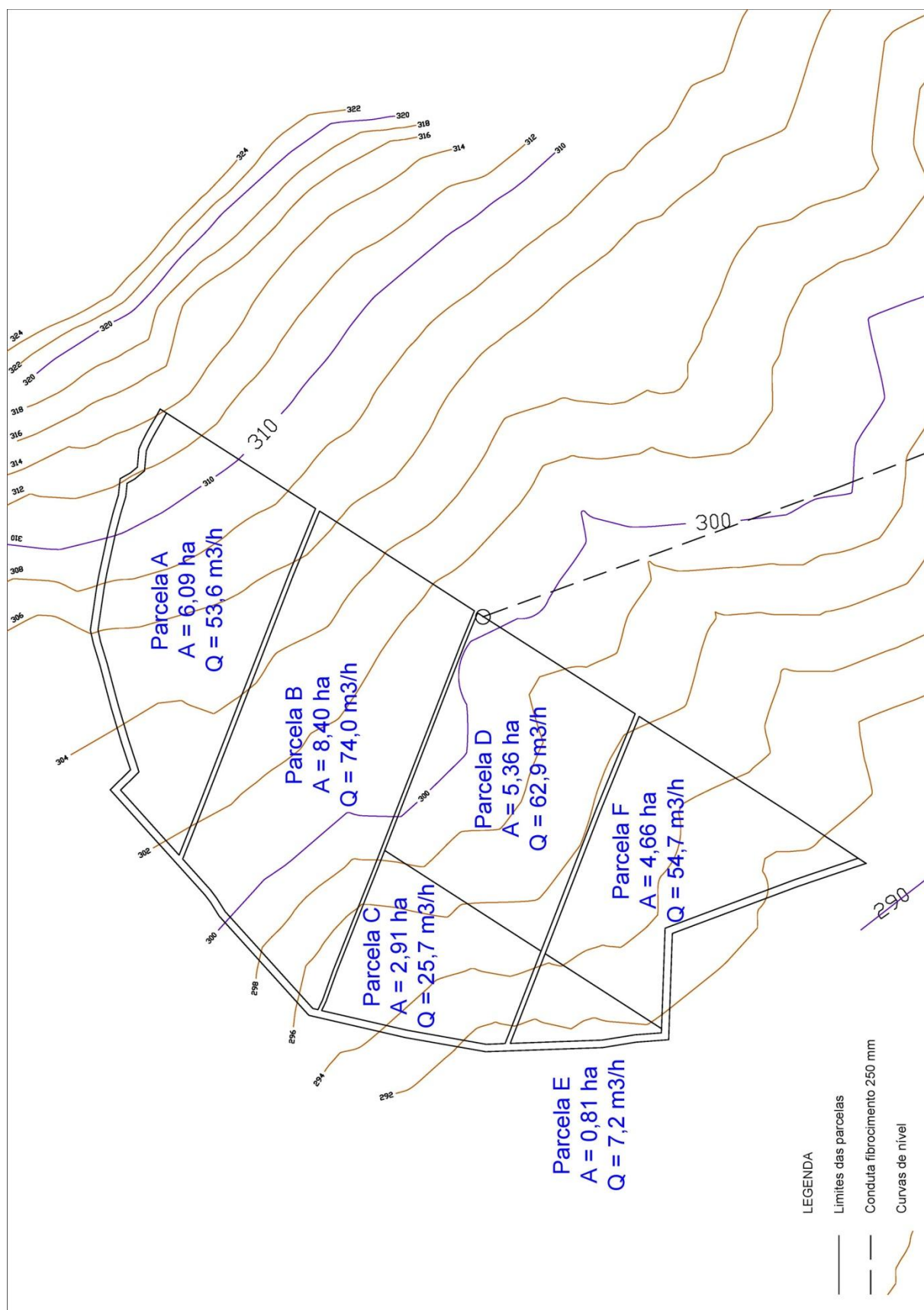
Anexo 1.3 – Comprimentos máximos das linhas de plantação



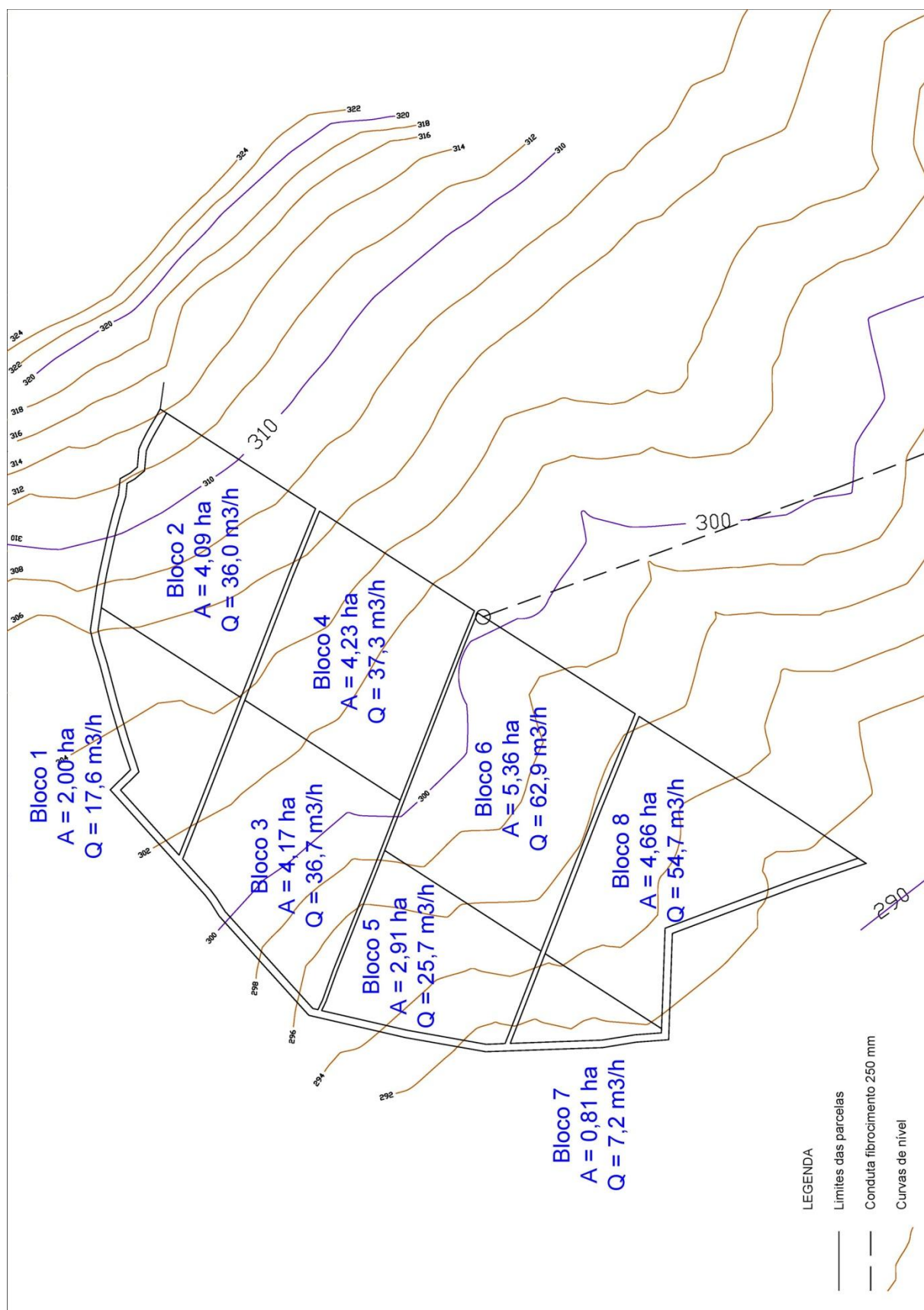
Anexo 1.4 – Planta de sectores



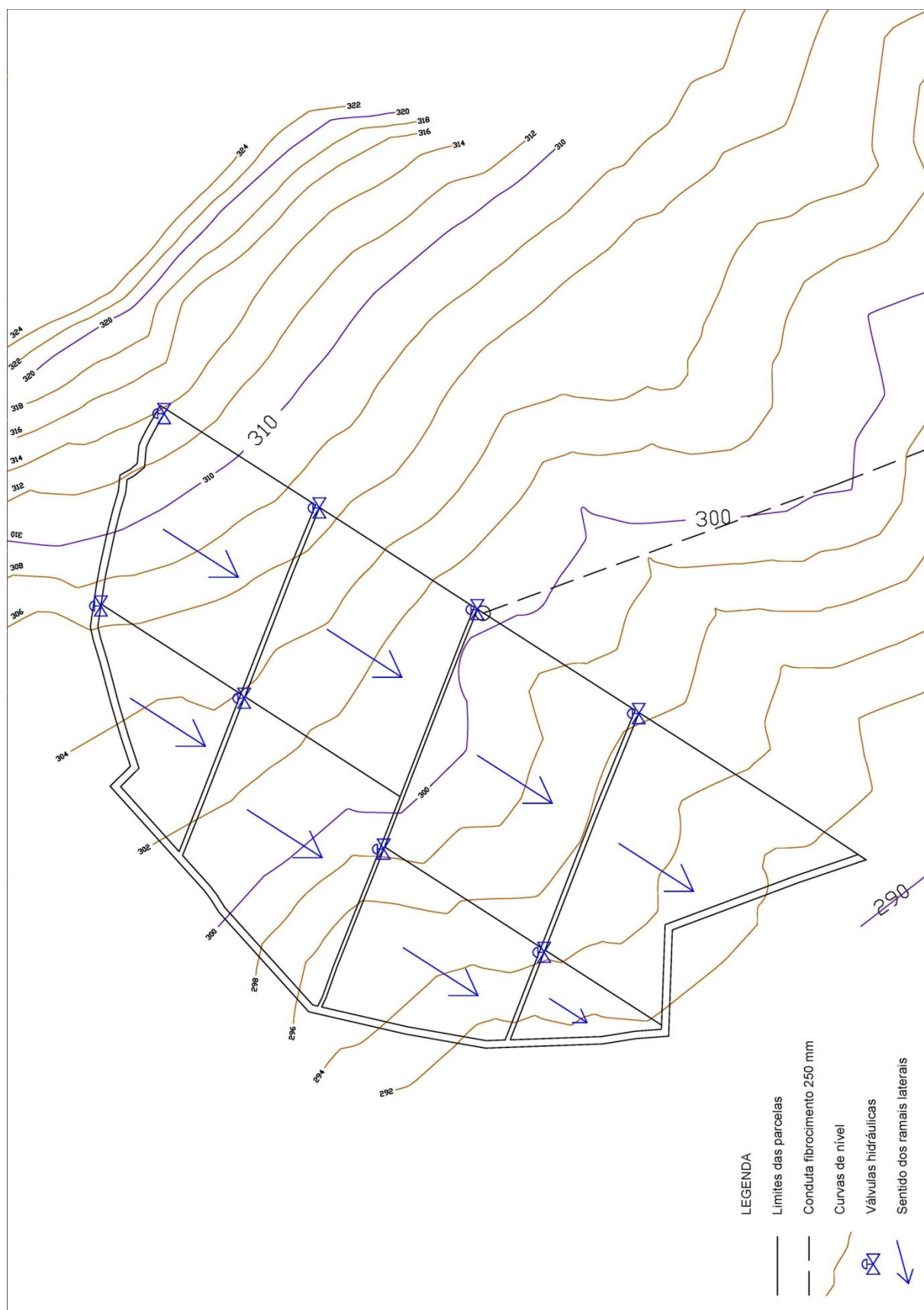
Anexo 1.5 – Área e caudal das parcelas



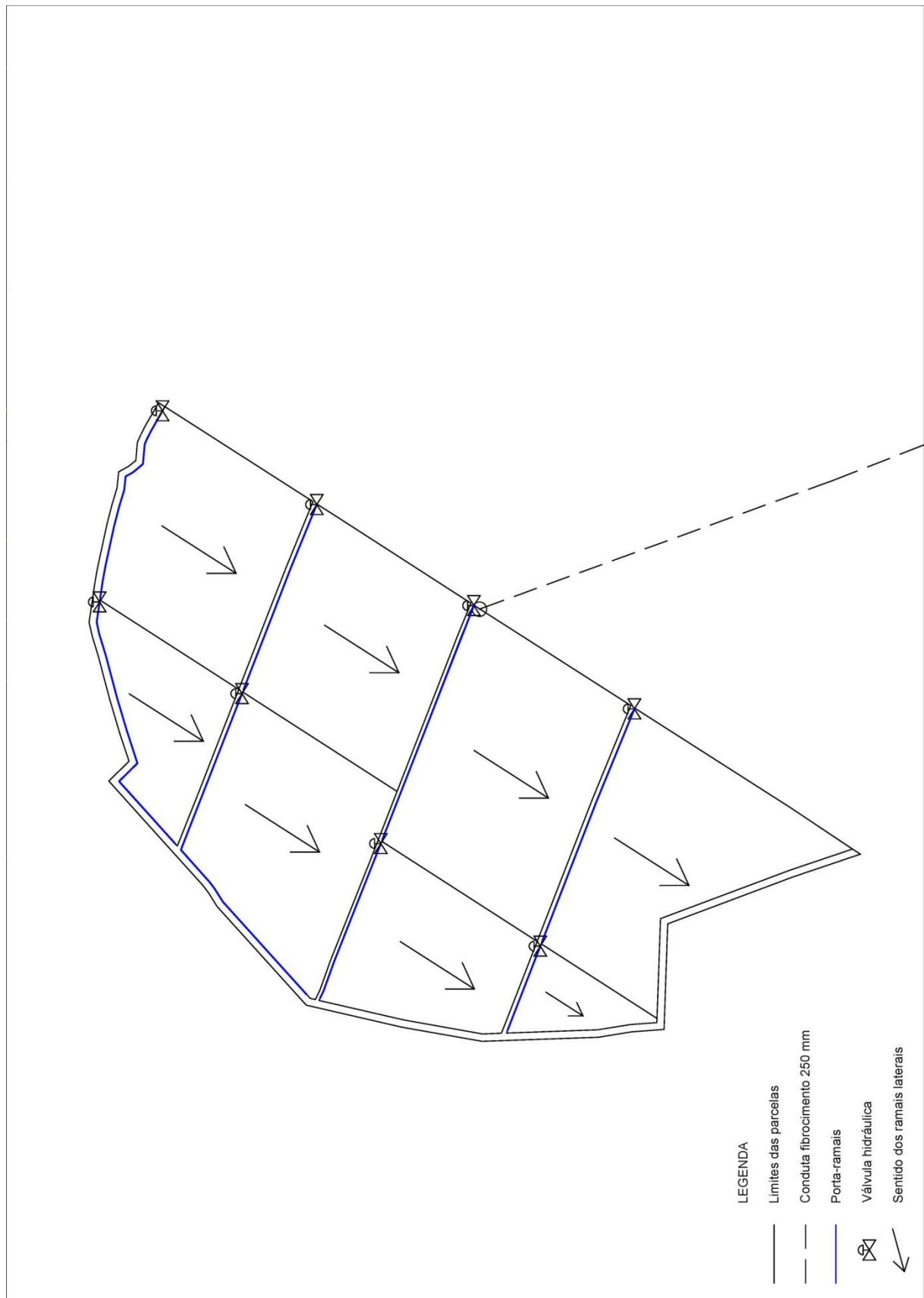
Anexo 1.6 – Planta de blocos de rega



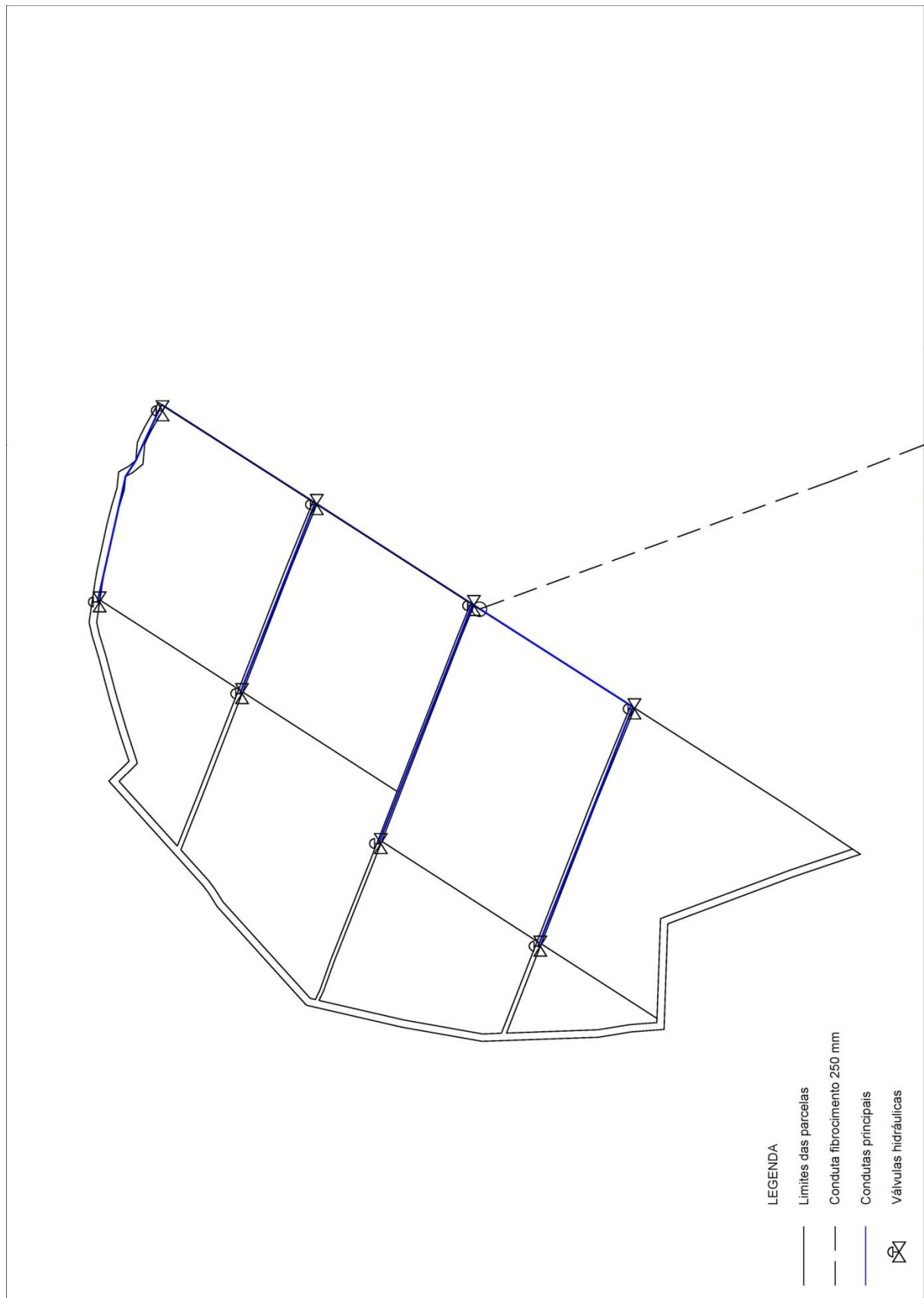
Anexo 1.7 – Planta de implantação das válvulas



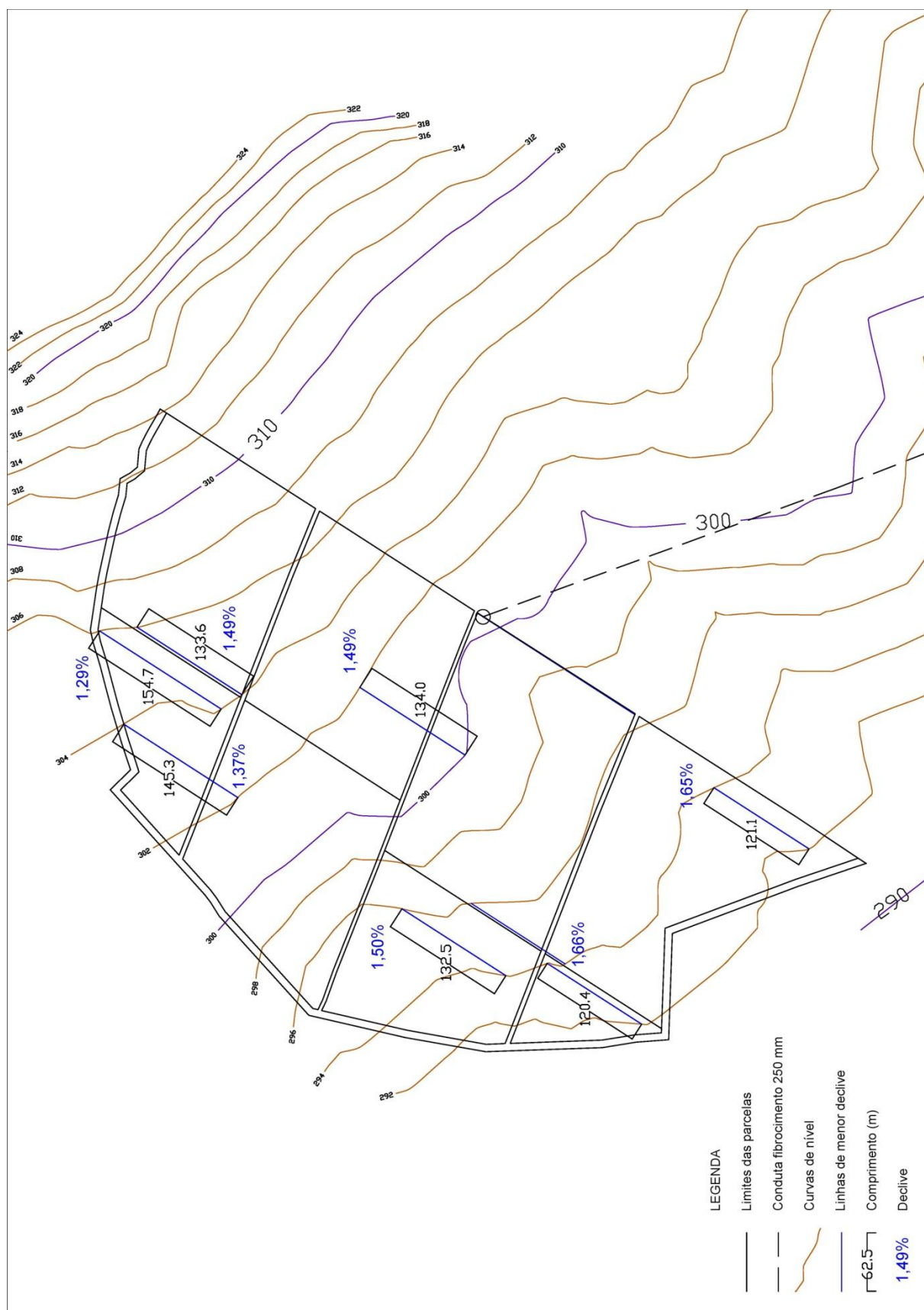
Anexo 1.8 – Planta de traçado dos porta-ramais



Anexo 1.9 – Planta de traçado das condutas principais



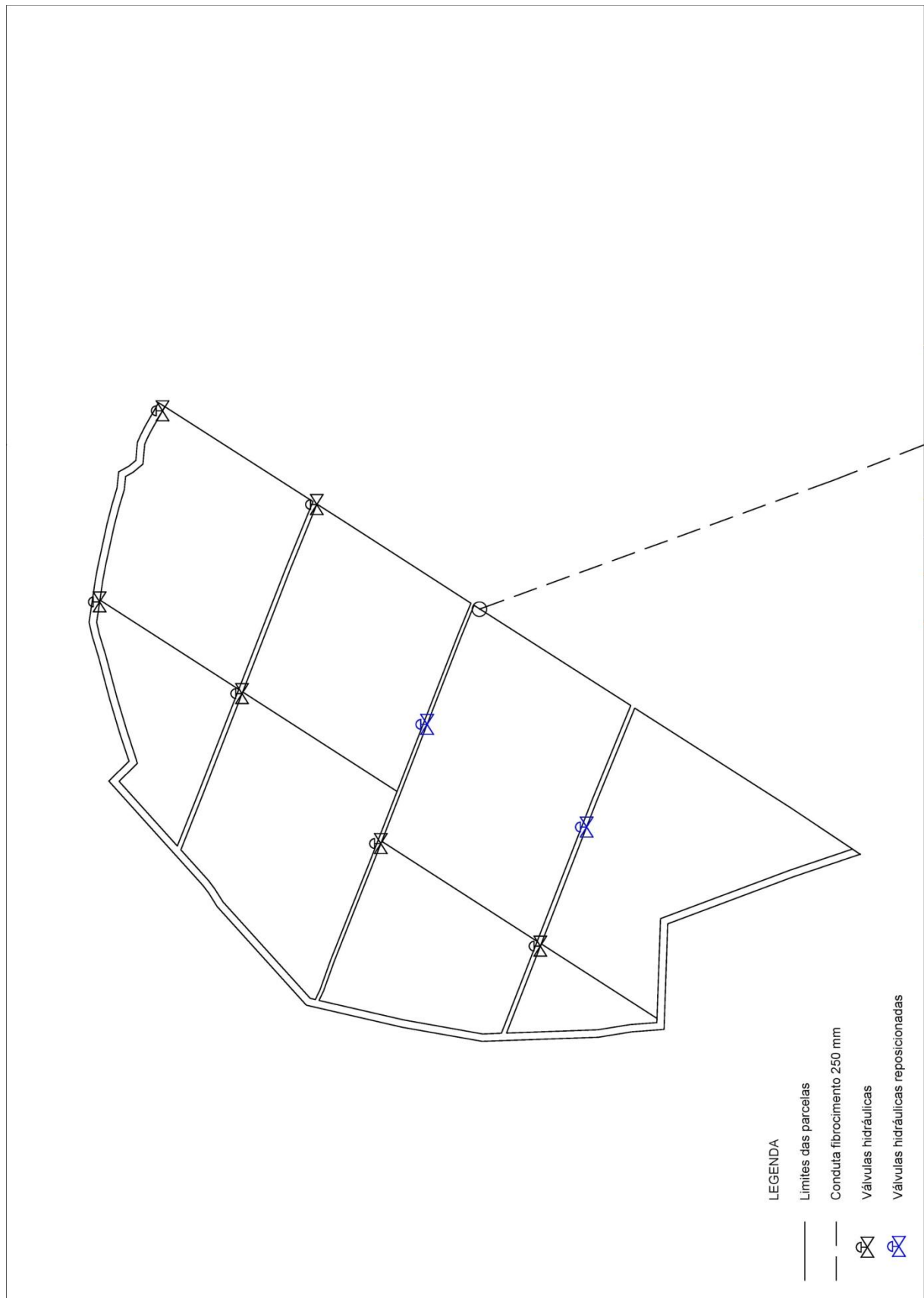
Anexo 1.10 – Determinação dos declives mínimos



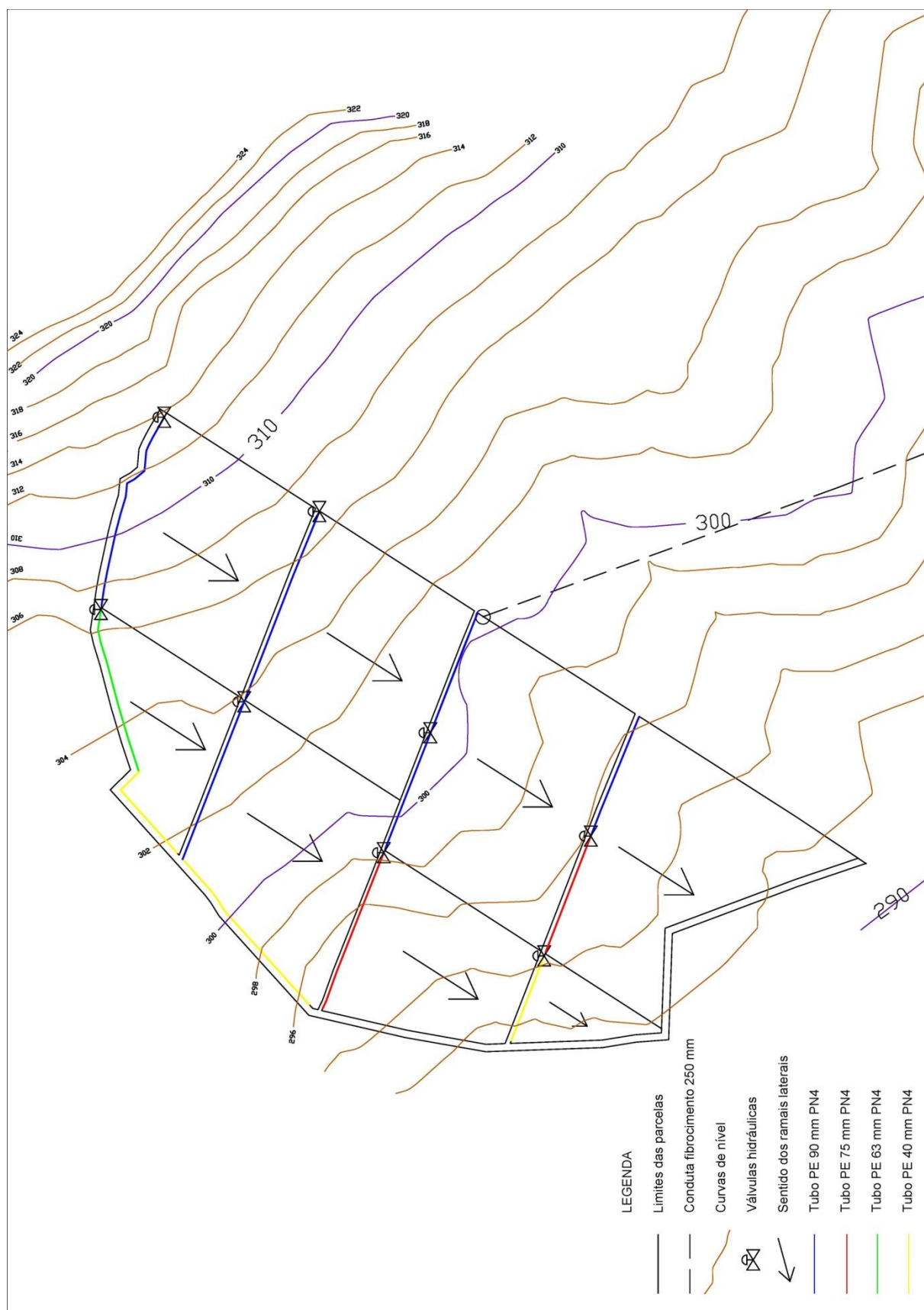
Anexo 1.11 – Planta de ramais laterais



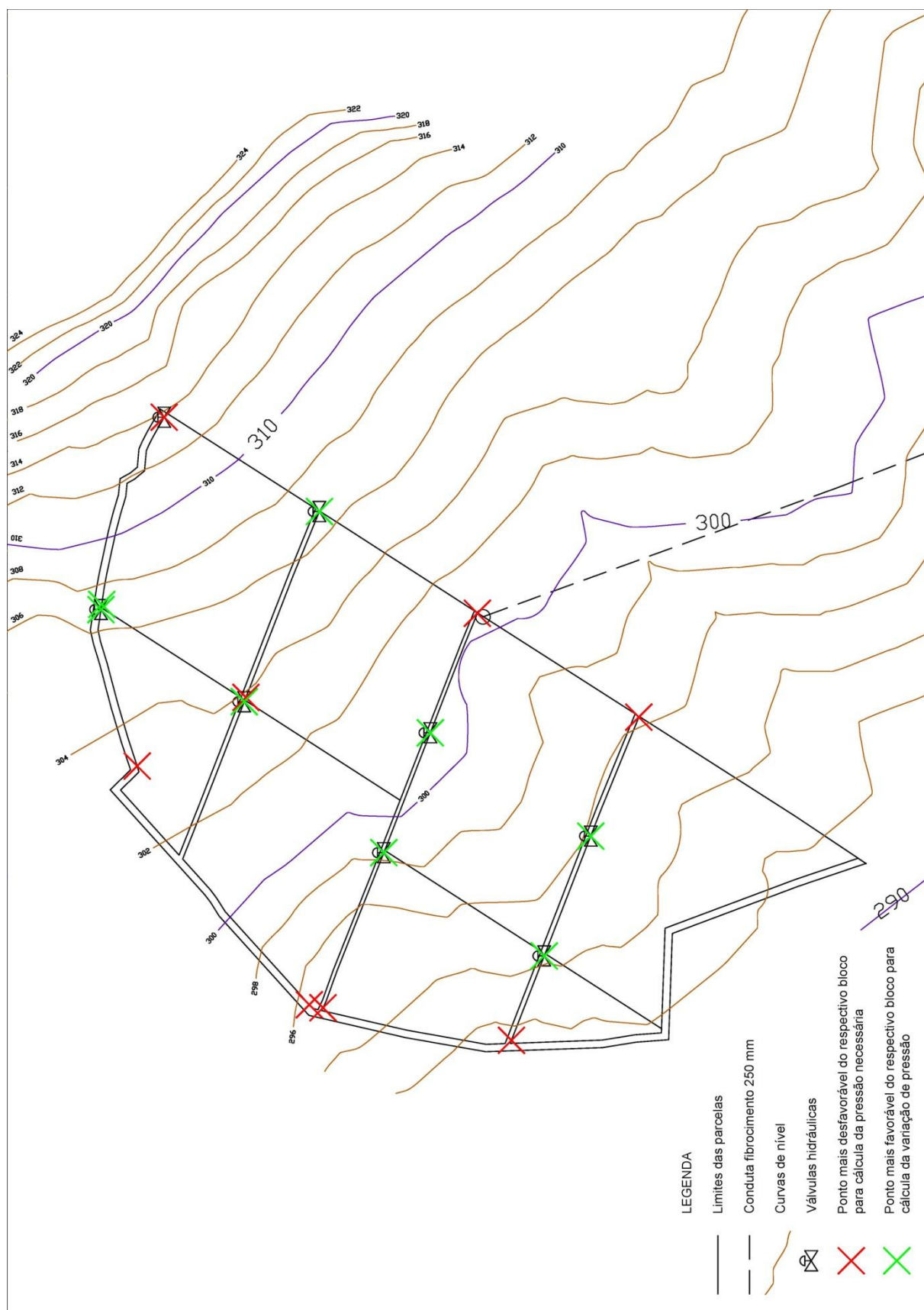
Anexo 1.12 – Redefinição das válvulas de comando



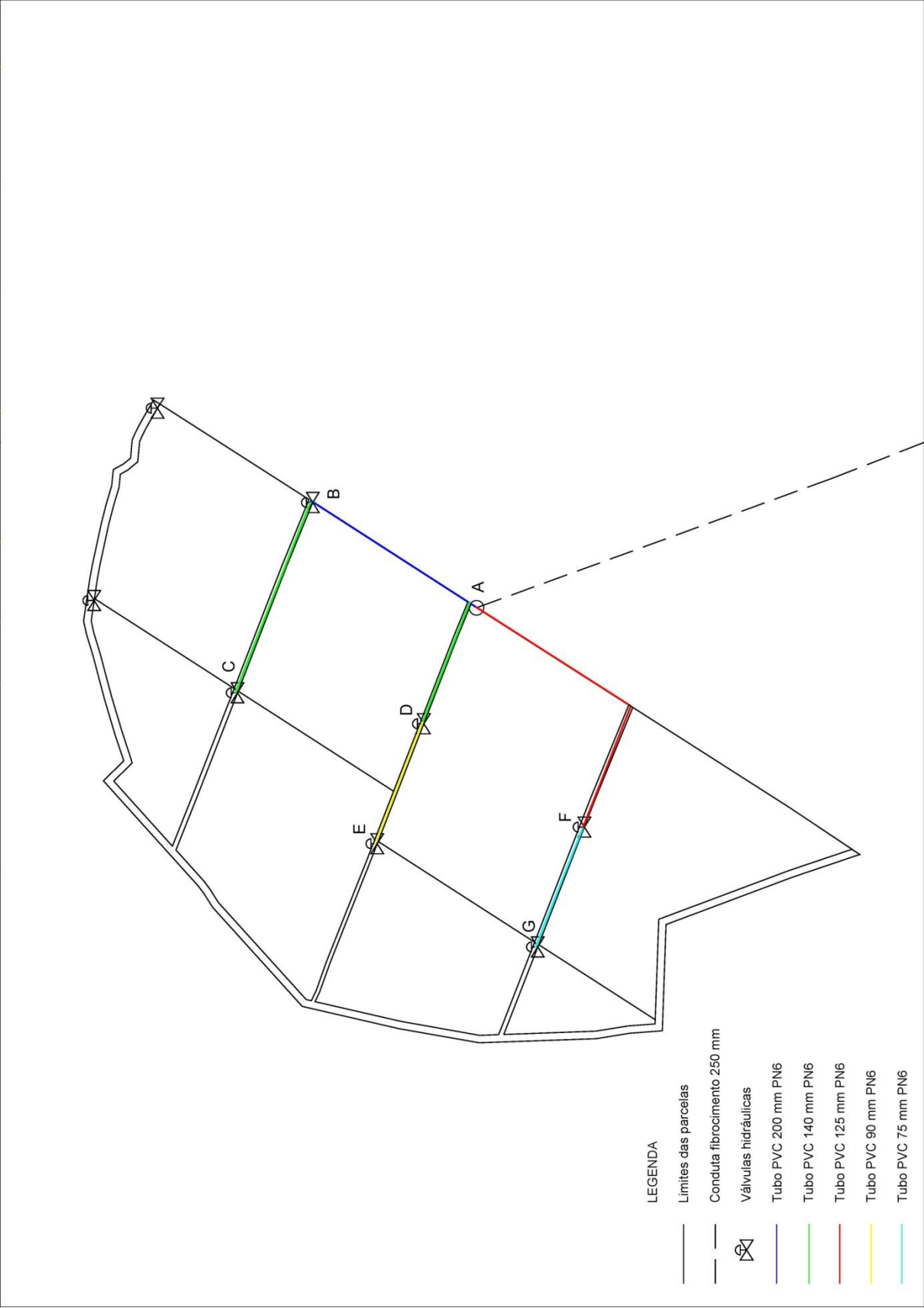
Anexo 1.13 – Planta final de diâmetros dos porta-ramais



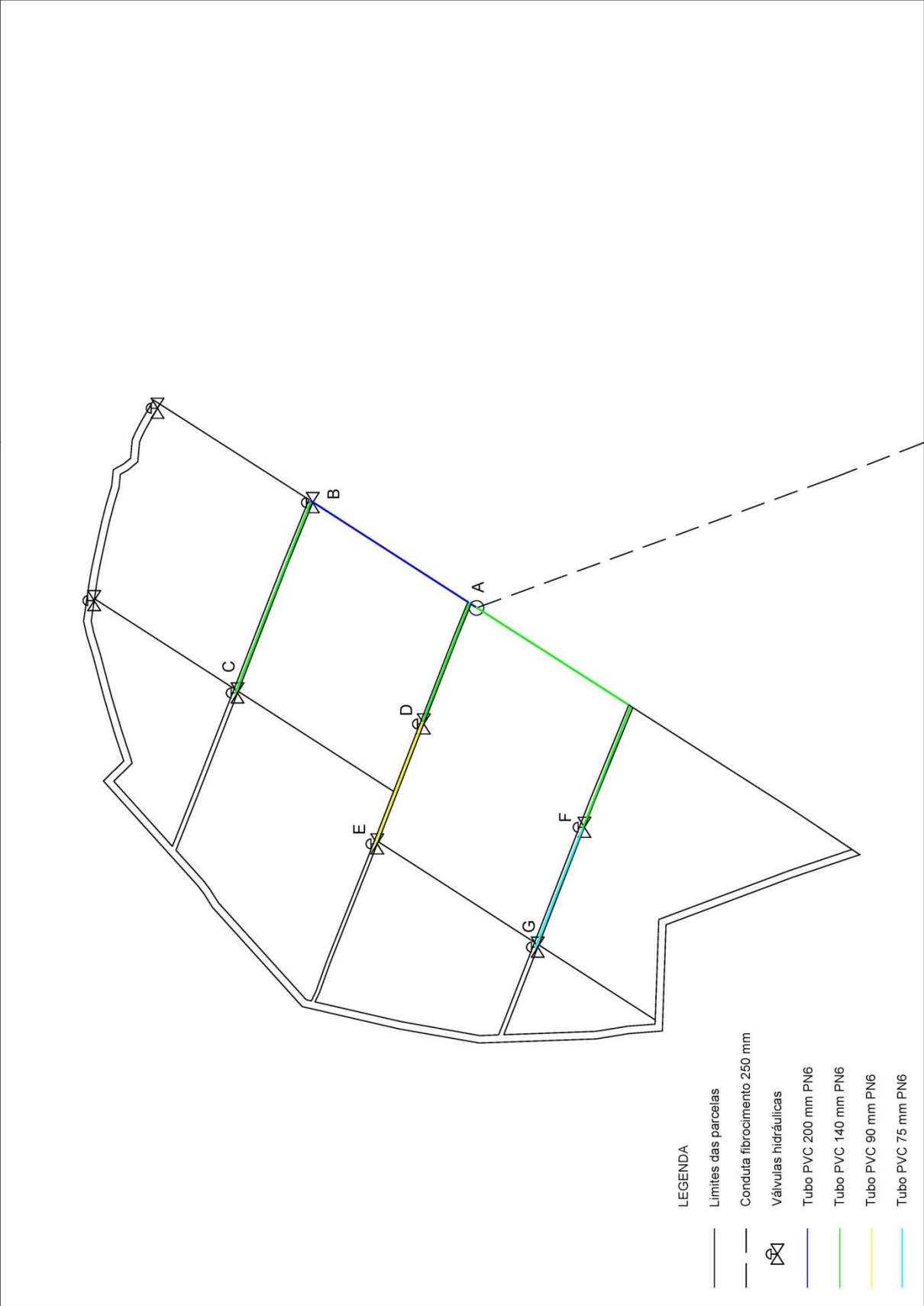
Anexo 1.14 – Localização dos pontos extremos de pressão



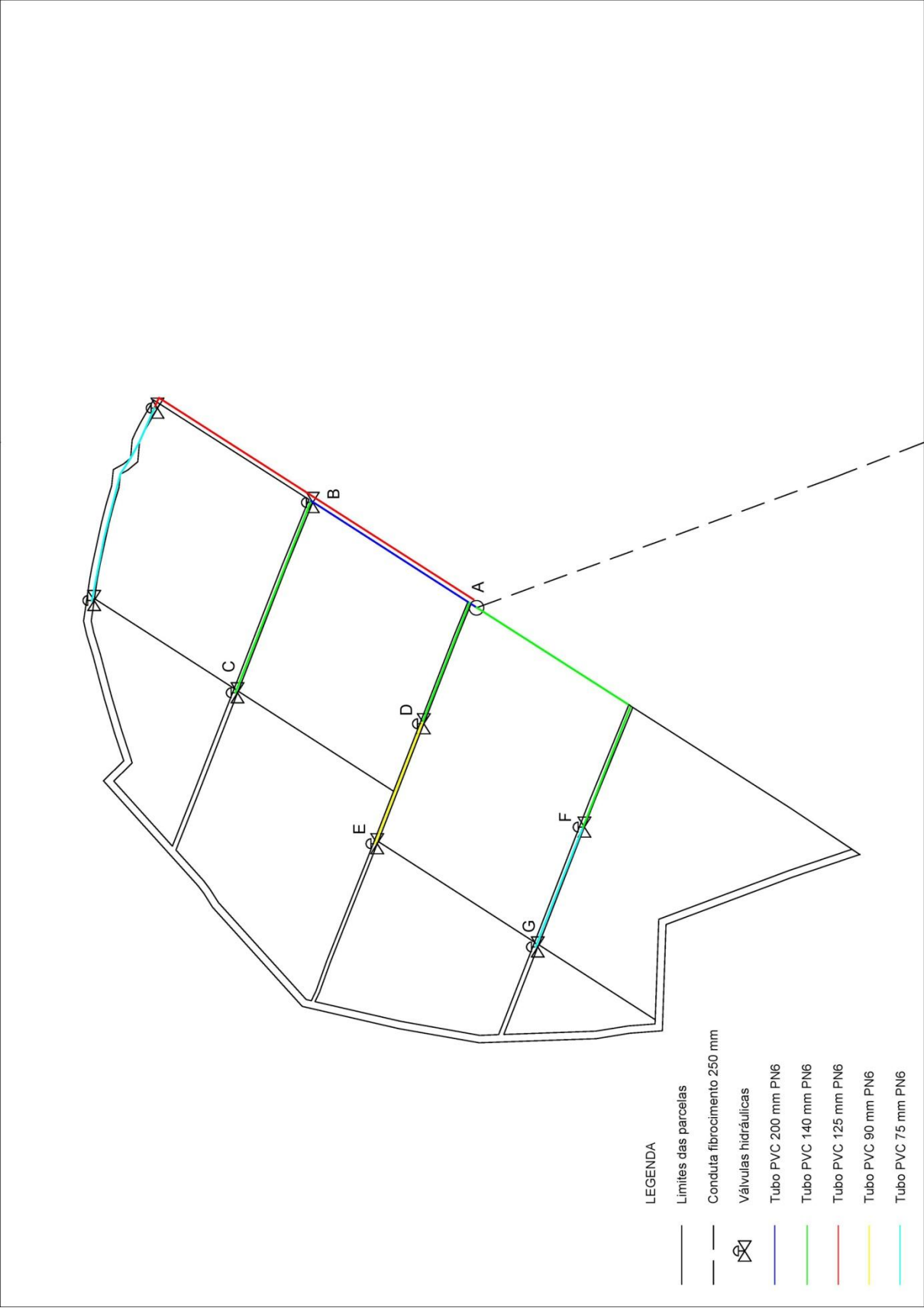
Anexo 1.15 – Planta provisória de diâmetros de condutas principais



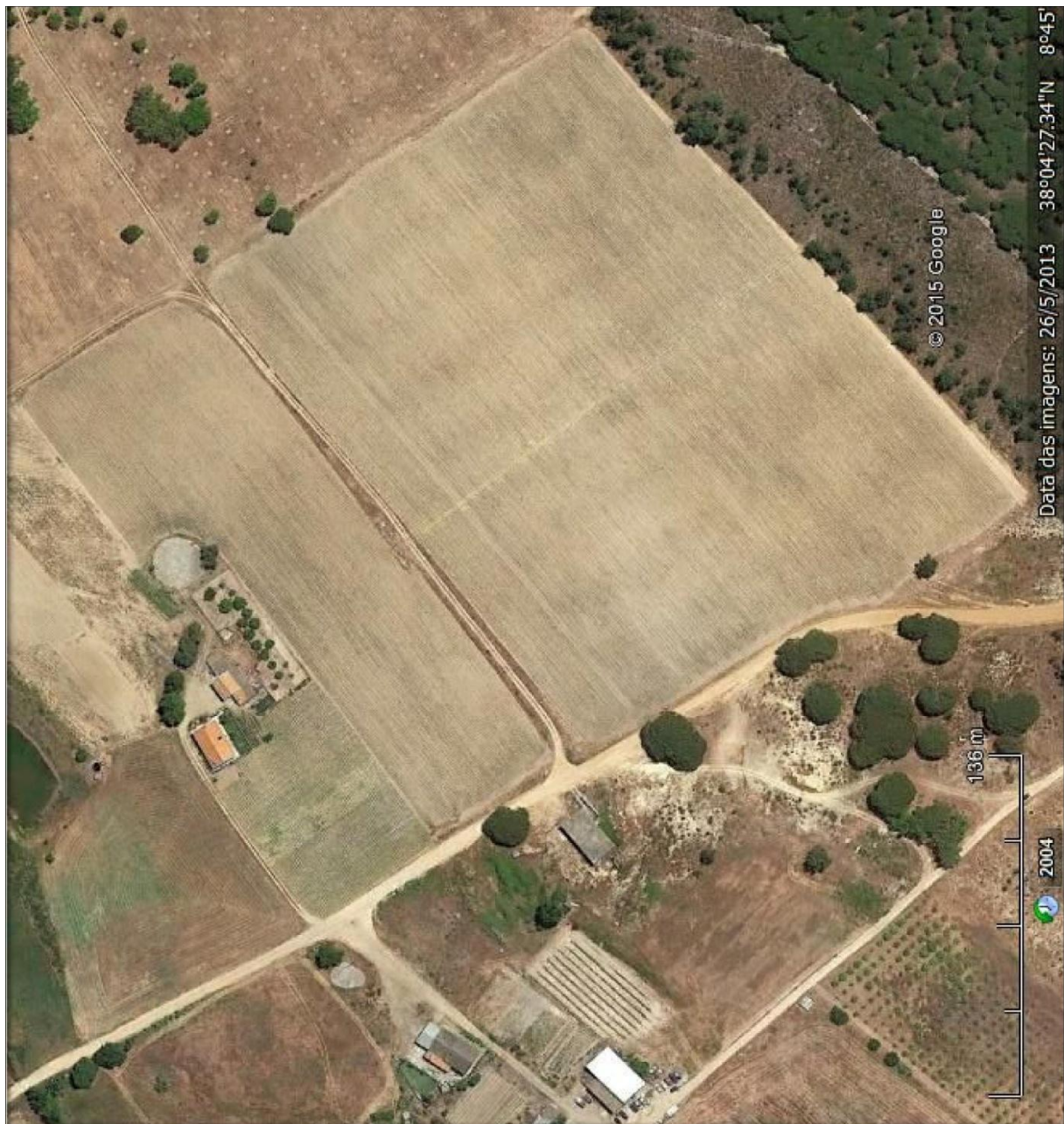
Anexo 1.16 – Planta provisória de diâmetros de condutas principais



Anexo 1.17 – Planta final de diâmetros de condutas principais



Anexo 2.1 – Levantamento da propriedade



Anexo 2.2 – Delimitação da propriedade



Anexo 2.3 – Adaptação dos aspersores à propriedade – fase 1



Anexo 2.4 – Adaptação dos aspersores à propriedade – fase 2



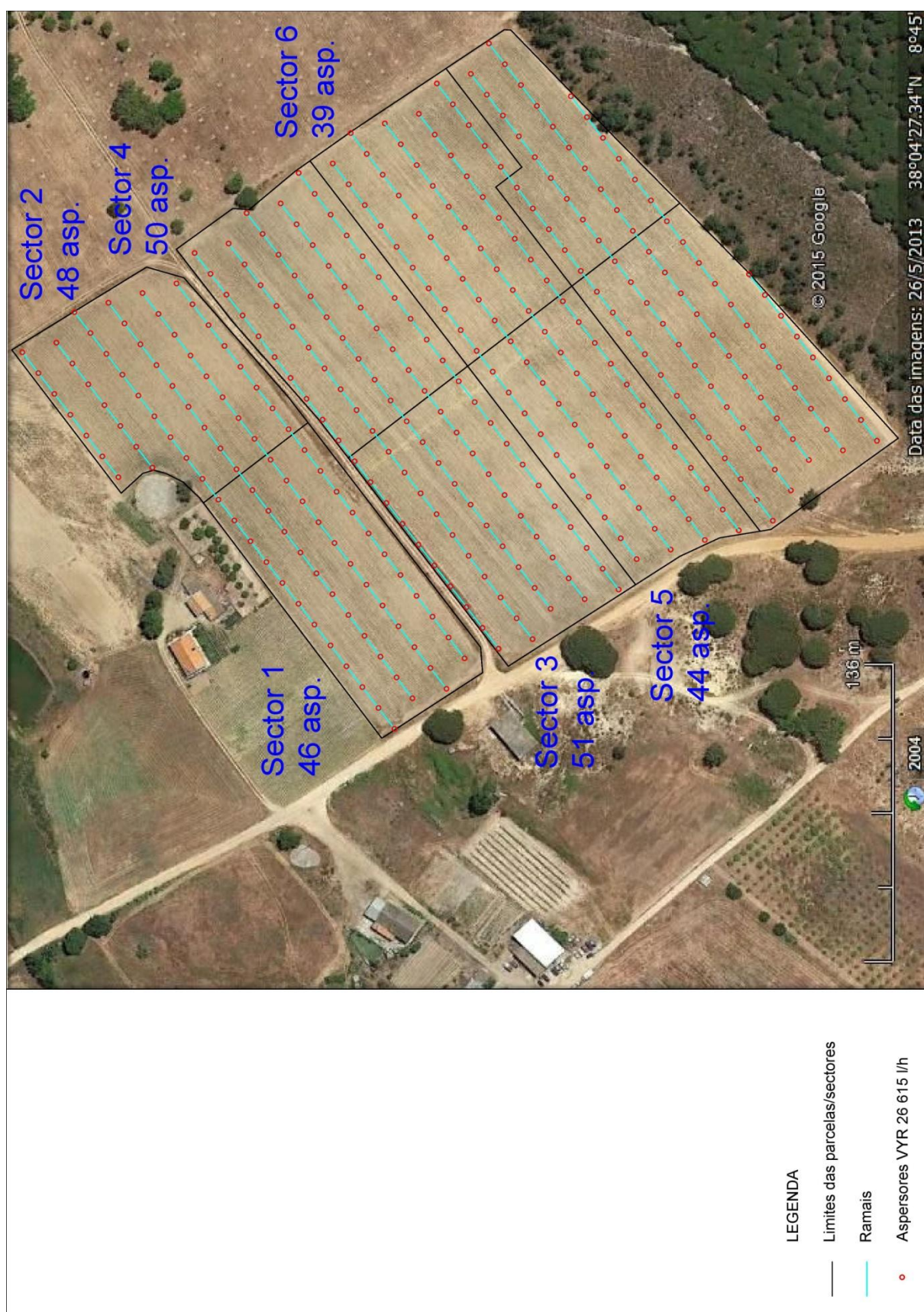
Anexo 2.5 – Formação de sectores de rega – fase 1



Anexo 2.6 – Formação de sectores de rega – fase 2



Anexo 2.7 – Formação de sectores de rega – fase 3



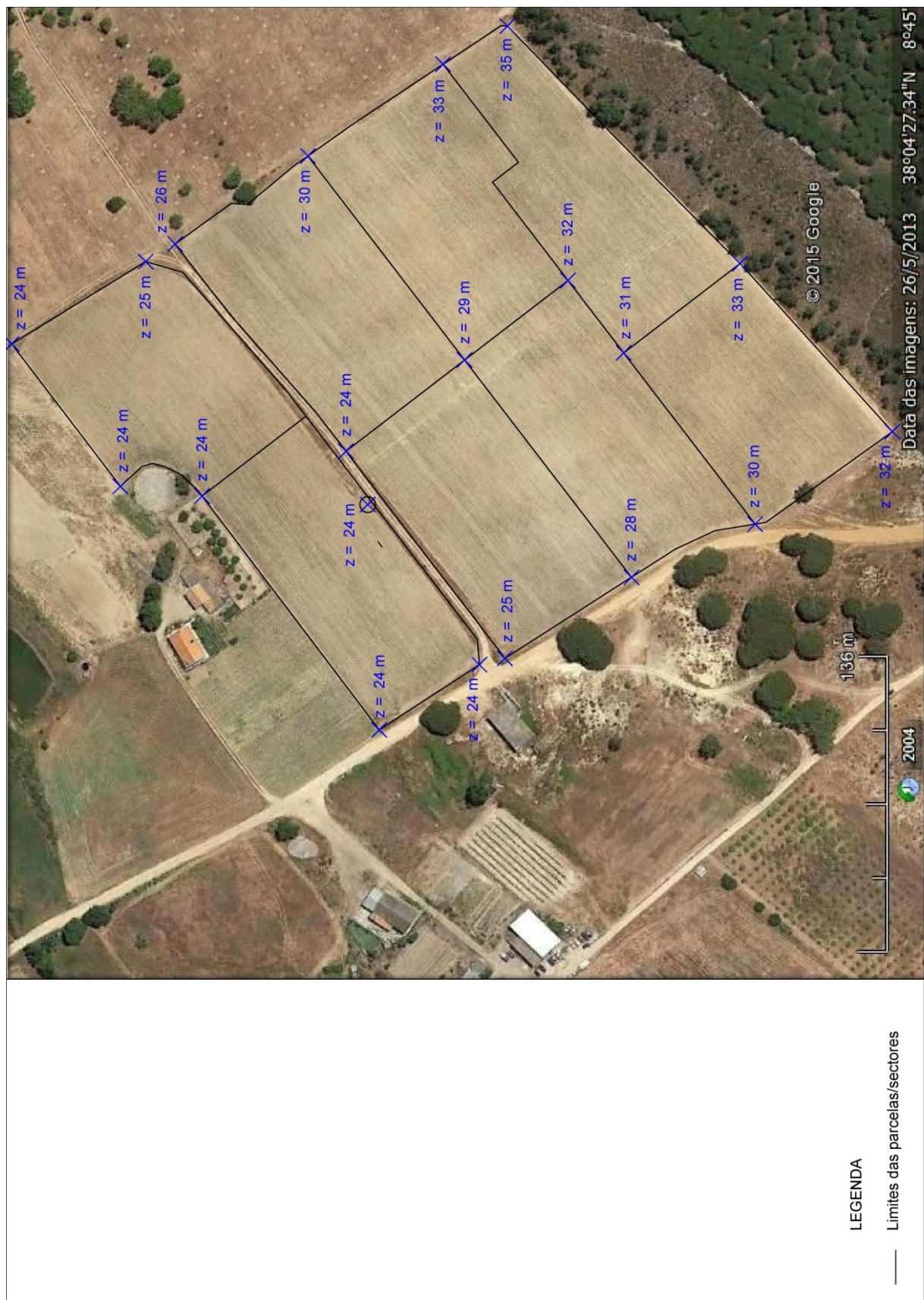
Anexo 2.8 – Formação de sectores de rega – fase 4



Anexo 2.9 – Planta final de sectores de rega e traçado dos ramais



Anexo 2.10 – Altitude de vários pontos de referência



Anexo 2.11 – Planta de implantação das válvulas



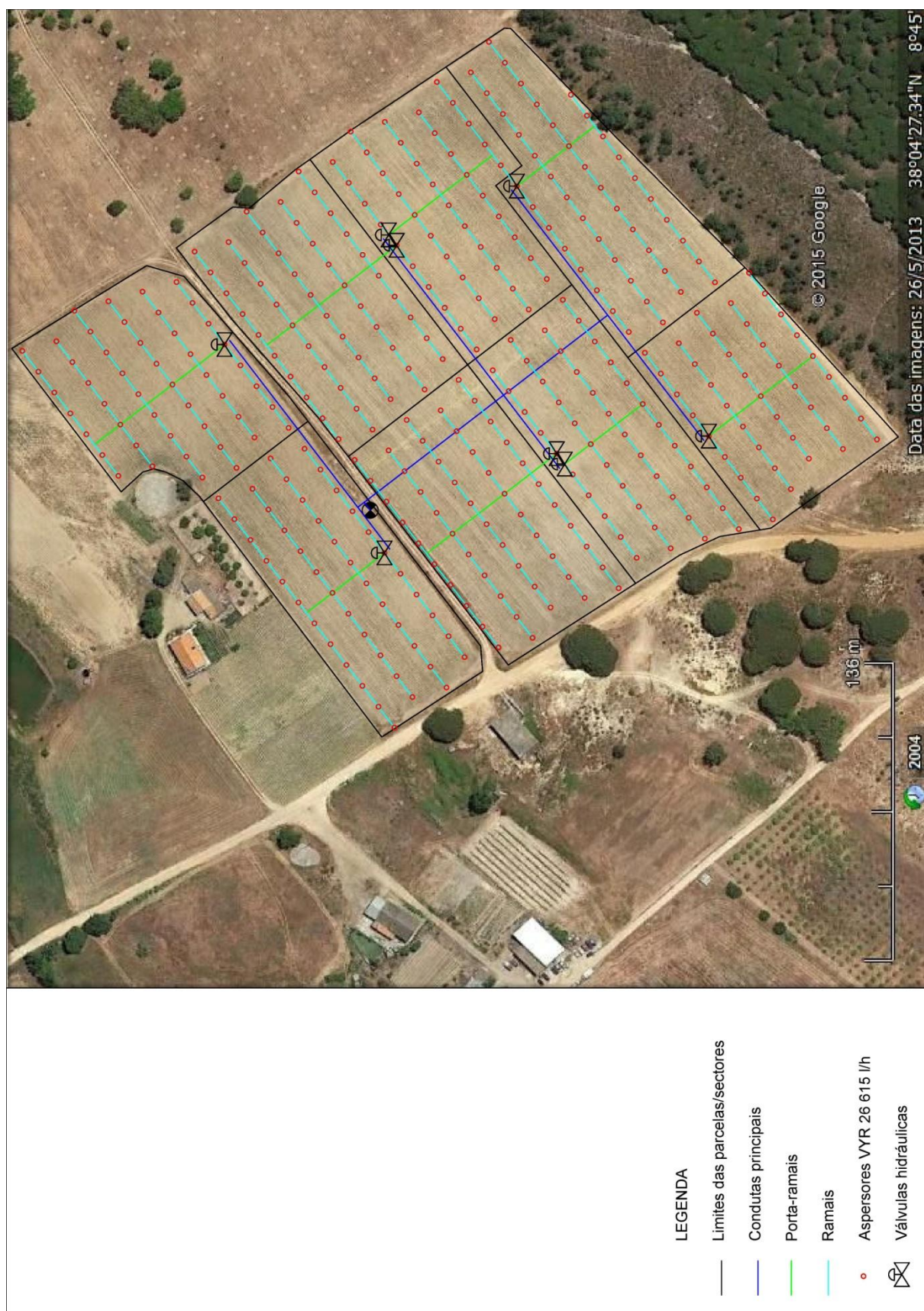
Anexo 2.12 – Planta de traçado dos ramais e porta-ramais



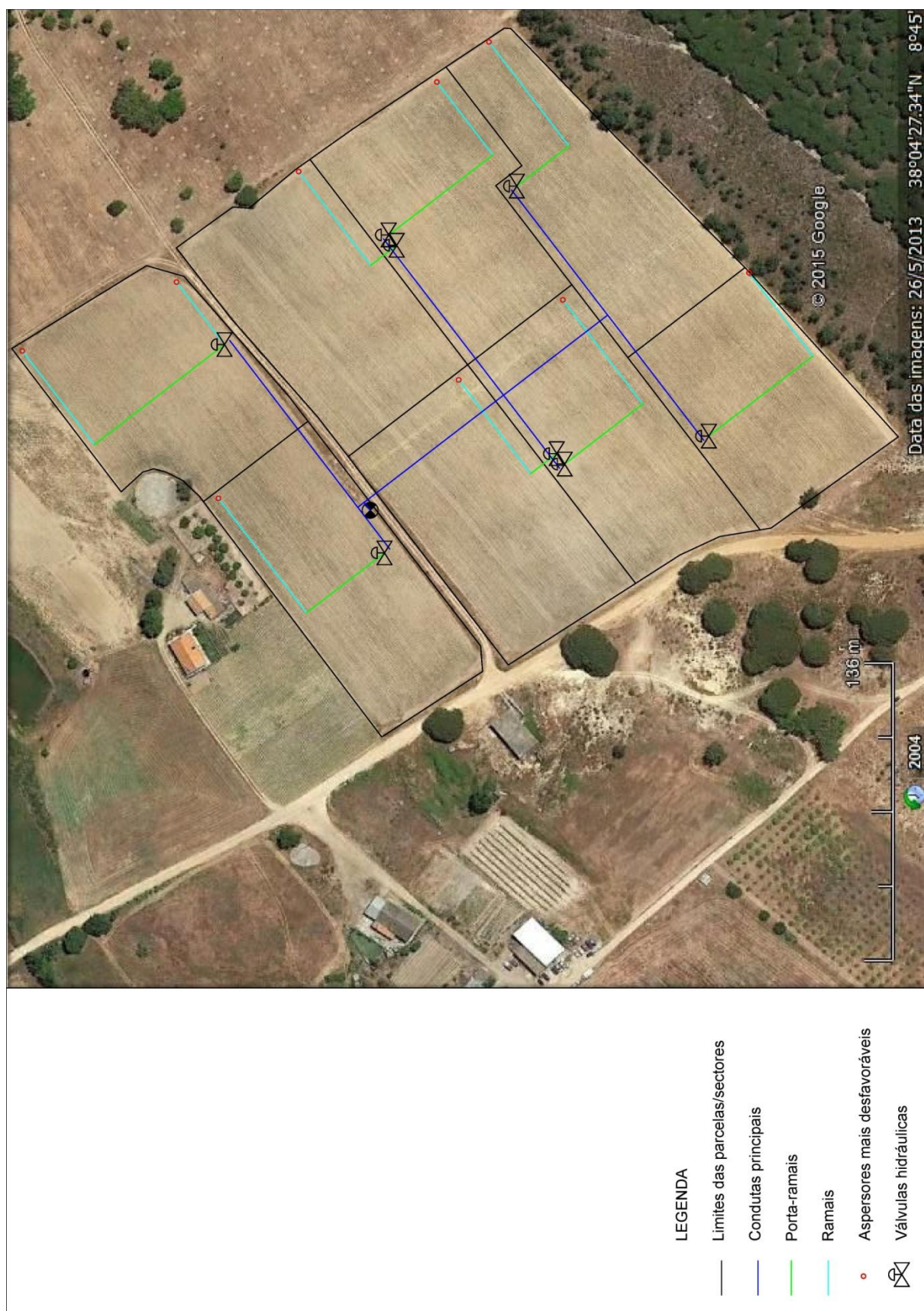
Anexo 2.13 – Planta de traçado de condutas principais



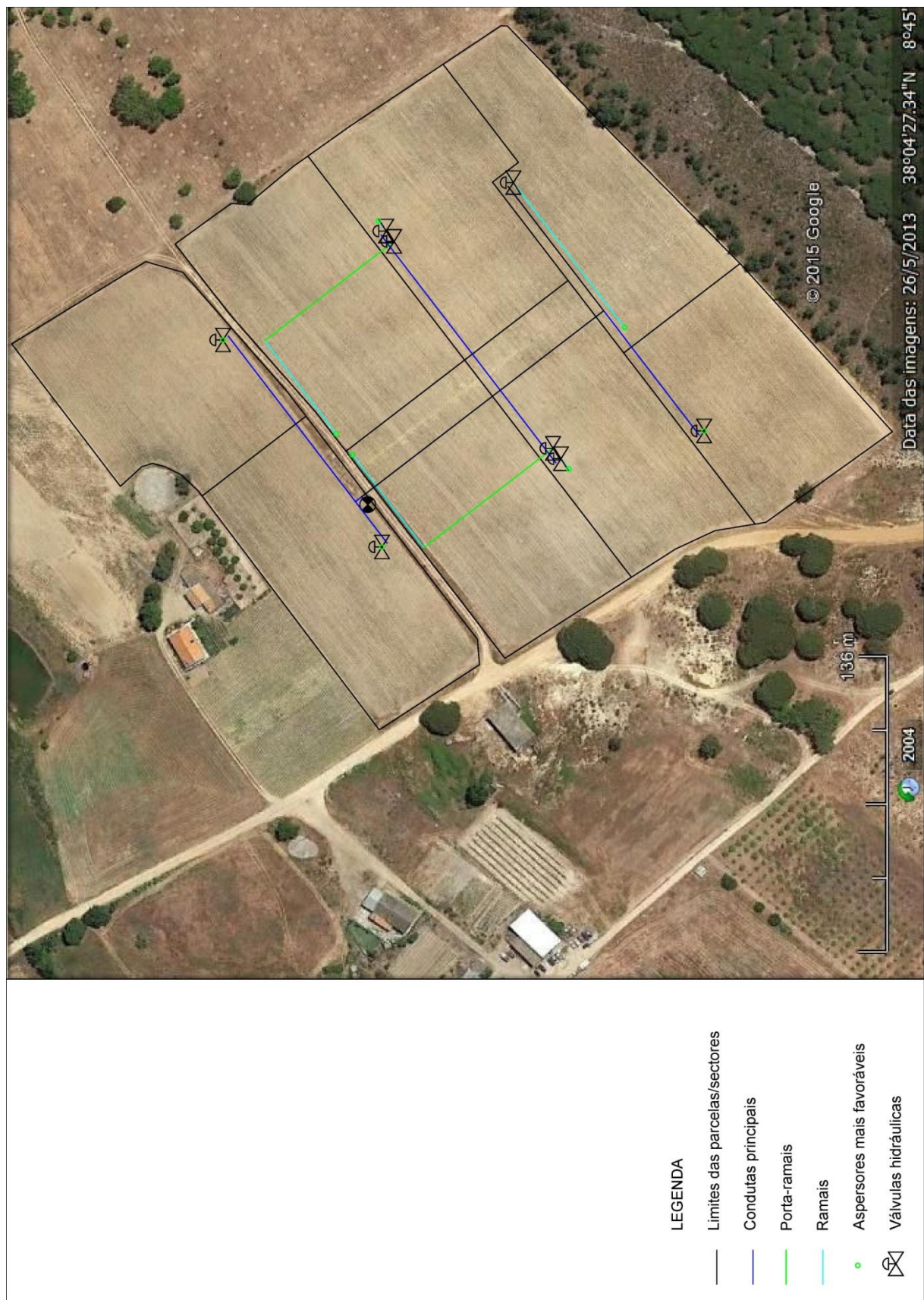
Anexo 2.14 – Planta global de traçado das condutas



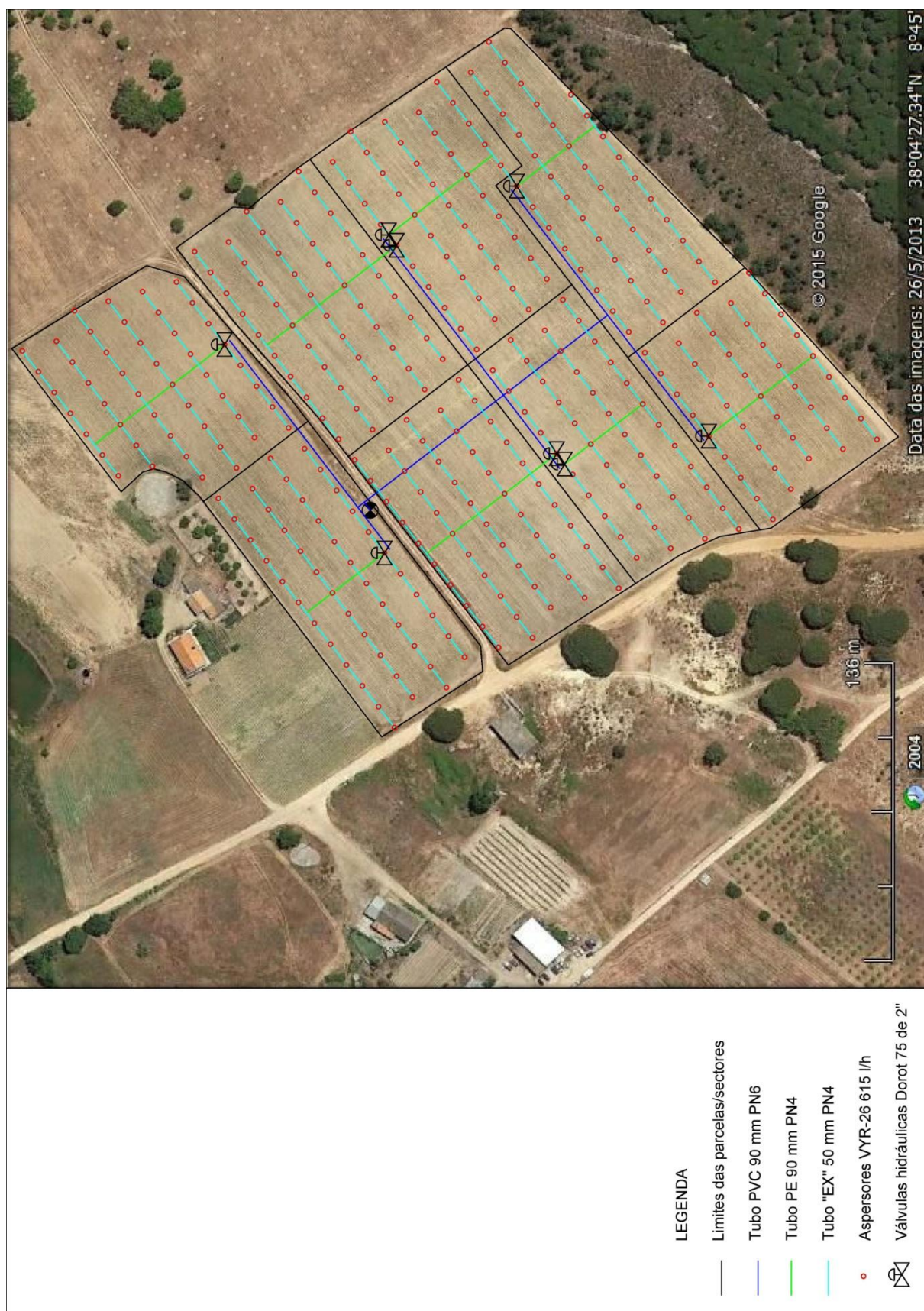
Anexo 2.15 – Planta de localização dos pontos mais desfavoráveis



Anexo 2.16 – Planta de localização dos pontos mais favoráveis



Anexo 2.17 – Planta global de diâmetros das condutas



Anexo 2.18 – Desenho esquemático do cabeçal de rega

